

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет електроенерготехніки та автоматики

Кафедра техніки і електрофізики високих напруг

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»

В. о. завідувача кафедри

_____ В. О. Бржезицький

« ____ » _____ 20__ р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

**на тему: «Вплив гармонік напруги на характеристики часткових розрядів
в ізоляції»**

Виконав:

студент VI курсу, групи ЕВ-61м

Ривука Василь Олександрович _____

Керівник:

Троценко Євгеній Олександрович, к.т.н., доцент _____

Консультант з розділу маркетингу:

Ст. викладач кафедри промислового маркетингу, к.е.н.,

Царьова Т. О. _____

Рецензент:

Доцент кафедри автоматизації енергосистем, к.т.н.,

Хоменко. О.В. _____

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Студент _____

Київ – 2018 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Факультет електроенерготехніки та автоматики
Кафедра техніки і електрофізики високих напруг

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(спеціалізація «Техніка та електрофізика високих напруг»)

ЗАТВЕРДЖУЮ

В. о. завідувача кафедри

_____ В. О. Бржезицький
«___» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Ривуці Василю Олександровичу

1. Тема дисертації «Вплив гармонік напруги на характеристики часткових розрядів в ізоляції», науковий керівник дисертації Троценко Євгеній Олександрович, к.т.н., доцент, затверджені наказом по університету від 21.03.2018 р. № 981-с

2. Термін подання студентом дисертації: травень 2018 року

3. Об'єкт дослідження: Вплив гармонік напруги на характеристики часткових розрядів в ізоляції

4. Предмет дослідження: процес впливу гармонік напруги на характеристики часткових розрядів в ізоляції, вплив вищих гармонік напруги на часткові розряди, моделювання часткових розрядів за наявності гармонік, моделювання впливу гармонік напруги на інтенсивність часткових розрядів в ізоляції

5. Перелік завдань, які потрібно розробити:

Розгляд основних характеристики впливу гармонік на ізоляцію

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу:

Осцилограми впливу гармонік на ЧР в ізоляції

7. Орієнтовний перелік публікацій:

Trotsenko Ye., Brzhezitsky V., Protsenko O., Chumack V., Haran Ya. Simulation of partial discharges under influence of impulse voltage // Technology audit and production reserves. 2018. Vol. 1, No. 1 (39). P. 36.

Trotsenko Ye., Brzhezitsky V., Protsenko O., Chumack V., Haran Ya. Effect of voltage harmonics on pulse repetition rate of partial discharges // Technology audit and production reserves. 2018. Vol. 2, No. 1 (40). P. 37-44.

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Маркетинг високовольтного обладнання	Царьова Т. О., ст. викладач кафедри промислового маркетингу		

9. Дата видачі завдання 6 Лютого 2018

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Процес впливу гармонік напруги на характеристики часткових розрядів в ізоляції	Лютий 2018	
2	Вплив вищих гармонік напруги на часткові розряди	Лютий 2018	
3	Моделювання часткових розрядів за наявності гармонік	Березень 2018	
4	Моделювання впливу гармонік напруги на інтенсивність часткових розрядів в ізоляції	Квітень 2018	
5	Стартап: комерціалізація впливу гармонік напруги на характеристики часткових розрядів в ізоляції	Травень 2018	

Студент

Ривука В.О.

Науковий керівник дисертації

Троценко Є.О

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація складається з пояснювальної записки та графічної частини. Пояснювальна записка виконана на 67 сторіки формату А4, яка включає в себе 38 рисунків, 16 таблиць, 13 джерел використаної літератури.

В дисертації розглянуто вплив гармонік напруги на характеристики часткових розрядів в ізоляції. Проведено моделювання впливу гармонік на ізоляцію в програмі Micro-Cap 11

Актуальність теми. Як правило, в лабораторних та діагностичних тестах, спрямованих на вимірювання часткових розрядів, передбачається чиста синусоїдальна сила напруги. Однак на практиці спектральний склад прикладеної напруги рідко буває такий ідеальний і додаткові компоненти впливають на поведінку розряду в електричних системах ізоляції. У роботі проаналізовано вплив гармонік напруги на поведінку часткового розряду в ізоляції. Визначення впливу є дуже важливим для діагностики і експлуатації електрообладнання

Метою магістерської дисертації є дослідження впливу гармонік напруги на поведінку часткового розряду в ізоляції.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні **задачі**:

- розглянути теорію впливу гармонік на часткові розряди;
- дослідити фактори, які впливають на ізоляцію;
- побудувати графіки впливу гармонік на часткові розряди;
- провести порівняння й висновки за отриманими результатами.

Об'єкт дослідження: часткові розряди в ізоляції електрообладнання.

Предмет дослідження: дія гармонік на часткові розряди й їх зміни

Методи дослідження. В основу роботи покладено моделювання часткових розрядів, що виникають в ізоляції і їх зміну під дією гармонік. Обробка результатів дослідження виконувалася з використанням сучасного прикладного програмного забезпечення: Micro-Cap 11 .

Наукова новизна результатів полягає в розроблені нових методів дослідження впливу ЧР розрядів з більшою точністю завдяки контролю за гармоніками, їх впливу на ЧР.

ABSTRACT

The master's dissertation consists of an explanatory note and a graphic part. The explanatory note is made on 67 pages of A4 format, which includes 38 drawings, 16 tables, 13 sources of used literature.

The influence of voltage harmonics on the characteristics of partial discharges in isolation is considered in the dissertation. The simulation of the effects of harmonics on isolation in the Micro-Cap 11 program was carried out

Actuality of theme. Typically, in a laboratory and diagnostic tests aimed at measuring partial discharges, a pure sinusoidal force is assumed. However, in practice, the spectral composition of the applied voltage is rarely such an ideal and the additional components affect the behavior of the discharge in electrical isolation systems. In the work the influence of voltage harmonics on the behavior of a partial discharge in isolation is analyzed. Determining the impact is very important for the diagnosis and operation of electrical equipment

The purpose of the master's thesis is to study the effect of voltage harmonics on the behavior of a partial discharge in isolation.

To achieve this goal, the following tasks must be solved:

- to consider the theory of influence of harmonics on time discharges;
- to investigate the factors that influence the isolation;
- to construct graphs of the effects of harmonics on partial discharges;
- to make comparisons and conclusions on the results obtained.

Object of research: partial discharges in isolation of electrical equipment.

Subject of research: the effect of harmonics on partial discharges and their changes

Research methods. The basis of the work is the simulation of partial discharges arising in isolation and their change under the action of harmonics. The processing of the research results was carried out using modern software applications: Micro-Cap 11.

The scientific novelty of the results consists in the development of new methods for studying the effects of PD discharges with greater precision due to the control of harmonics and their impact on the PD.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ.....	7
ВСТУП.....	8
1 Основні характеристики впливу гармонік на ізоляцію	9
1.1 Загальні визначення.....	10
2 Вплив високих гармонік напруги на часткових моделях розряду	28
3 МОДЕЛЮВАННЯ ЧАСТКОВИХ РОЗРЯДІВ ЗА НАЯВНОСТІ ГАРМОНІК	35
4 Вплив гармонік напруги на характеристики часткових розрядів в ізоляції	43
5 Стартап.....	56
ВИСНОВКИ.....	64
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	65

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ

ЧР – частковий розряд

ВН – висока напруга

ПС – електрична підстанція

КЛ – кабельна лінія

КП – коефіцієнт теплопередавання

Вступ

Як правило, в лабораторних та діагностичних тестах, спрямованих на вимірювання часткових розрядів, передбачається чиста синусоїдальна сила напруги. Однак на практиці спектральний склад прикладеної напруги рідко буває таким ідеальним і додаткові спектральні компоненти впливають на поведінку розряду в електричних системах ізоляції. У роботі проаналізовано вплив гармонік напруги на поведінку часткового розряду та еволюцію моделі. Експериментальні результати показали, що різні гармонійні композиції, накладені на фундаментальну синусоїдальну форму справляють істотний вплив на інтенсивності ЧР і максимальний заряд.

Внаслідок цього розподіли фаз та амплітуди моделей спотворюються та обчислюються статистичні параметри. Грубі параметри, що відображають якість спектрального сигналу, є досить поверхневими і не забезпечують надійність прикладеної напруги в термінах варіацій кута фази. У певних середовищах, нехтування гармонічним вмістом у напрузі може призвести до помилкових результатів.

Повне знання гармонічного змісту є надзвичайно важливим і критичним для проведення належної оцінки впливу ЧР, включаючи критерії прийнятності та сумісність із стандартами.

1. ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВПЛИВУ ГАРМОНІК НА ІЗОЛЯЦІЮ

1.1 ПІДХІД ДО ВИВЧЕННЯ ВПЛИВУ ГАРМОНІК НА ІЗОЛЯЦІЇ

Вплив гармонік на системи ізоляції з точки зору втрат, тривалості життя та деградації діелектричних матеріалів було розглянуто в багатьох дослідженнях минулого століття. Відносно новий аспект в даній галузі досліджень стосується впливу гармонік на часткові розряди (ЧР) явищ, особливо щодо їх механізму та інтерпретації вимірювань. Усвідомлення впливу гармонік особливо важливе в сучасній діагностиці силового обладнання, яке все більше засноване на етапі вирішення часткових розрядів. У мережах та мережах змінного струму синусоїдальна напруга звичайно містить різні гармоніки, викликані навантаженнями та резонансами системи.

Ці явища вже розглядалися в ранніх роботах з тематики систем ізоляції, таких як Уайтхед і Арман, опубліковані на початку минулого століття. Наприклад, Арман та співавтори показали, що гармоніки, вироблені випрямним обладнанням, разом із характеристиками системного резонансу, відповідальні за скорочення терміну служби просочених кабелів живлення 33 кВ.[1] Було встановлено, що штирі в ізоляції паперової стрічки були викликані внутрішніми розрядами, що підкреслюються наявністю гармонійних напруг високої частоти та високої амплітуди в системі. Одна з перших публікацій, присвячених ЧР та гармонікам, була опублікована в 1952 році Мейсоном. У цій роботі автор проаналізував варіацію розрядної послідовності з гармонічним вмістом прикладеної напруги. Зроблено висновок, що суперпозиція гармонік значно збільшує кількість випусків, лише якщо гармонічна напруга перевищує початкову напругу.

Вищий гармонійний вміст у сигналах напруги зазвичай асоціюється з діелектричним нагріванням в ізоляційних матеріалах, що прискорює процес старіння матеріалу. Збільшення втрат потужності, в порівнянні з частотним збудженням потужності, призводить до підвищення температури. Електричні, термічні та механічні напруги, як правило, об'єднуються, щоб сформувати моделі життєвого циклу систем ізоляції. У розширених моделях також враховується

гармонійний вміст, замінюючи чисту синусоїдальну напругу у спрощених моделях. Пік напруги є домінуючим фактором для прискорення деградації систем ізоляції, що живляться як низькочастотними, так і високочастотними гармоніками. Додатковими факторами є напруга, форма та термічне навантаження для низькочастотних гармонік.

Наявність гармонік впливає на дизайн правил витримки електроізоляції. Наприклад, деградація силових конденсаторів під впливом гармонік була продемонстрована. Накладені гармоніки призвели до коротшого терміну експлуатації цих конденсаторів. Вплив гармонік на розпад епоксидних смол за рахунок зростання електричного дерева.

Ізоляція трансформатора призначена для протидії впливу імпульсних випробувальних напруг, та аномальних напруг системи, таких як перемикання імпульсів. Проте під час нормальної роботи трансформаторна ізоляція також піддається гармонічним напругам на рівні передачі та розподілу, а також у промислових цілях. Наявність гармонік у найпростішому випадку може бути кількісно визначена за допомогою КНС (Коофіцієнт нелінійних спотворень). КНС можна розглядати як грубу оцінку якості напруги в контексті її впливу на ЧР. У реальних електричних мережах, де виявляються трансформатори, додатково змінювані умови експлуатації призводять до різних комбінацій гармонік напруги з динамічною модуляцією їх величин та фазових кутів.

Гармоніки спотворюють хвилі напруги, що, в свою чергу, впливає на поведінку ЧР. Таким чином, в сучасній діагностиці надзвичайно важливо правильно розуміти і інтерпретувати наявність гармонік при вимірюванні та аналізі часткових розрядів. Для висвітлення цих аспектів у цьому документі представлені два приклади. Перша стосується трансформатора, встановленого в комунальній мережі з різним гармонічним вмістом. Другий аспект пов'язаний з ЧР, що виникають у зразках, що імітують типові несправності в системах ізоляції трансформаторів. В обох випадках отримані та проаналізовані етапи вирішення ЧР.

1.2. ВПЛИВ ГАРМОНИКУ НА ПОВЕДІНКУ ПАЛИВНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Як правило, в лабораторних та діагностичних тестах, спрямованих на вимірювання часткових викидів, передбачається чиста синусоїдальна сила напруги. Однак на практиці спектральний склад прикладеної напруги рідко буває такий ідеальний і додаткові спектральні компоненти впливають на поведінку розряду в електричних системах ізоляції. Внаслідок цього розподіли фаз та амплітуди моделей PD деформуються та обчислюються статистичні параметри.

Для ілюстрації гармонічного впливу були визначені два види зразків, що представляють приклади типових дефектів, що виникають в ізоляції трансформатора. Механізм ЧР залежить від типу дефекту в системі ізоляції, дефект сам по собі є джерелом скидів. Наприклад досліджено механізм електричного дерева, що виникає при ізоляції кабелю під напругами напруги, що містять гармоніки, в основному в термінах часу до розриву. Умови початкового розподілу пов'язані з розподілом електричного поля та його абсолютною величиною. У трансформаторній паперовій олії, просоченій ізоляції, можна відрізнити характеристику дефекту, що представляють різні умови для ініціювання та розвитку ЧР. Перший (позначений у цьому документі як тип А) відноситься до газових включень у ламінарній ізоляції або створені через розкладання нафти з викидом газу. [2] Механізм ініціації ЧР пов'язаний з іонізацією в газі, що включає перенесення електричного заряду в розряді лавини або стримеру. Геометрія системи ізоляції, включаючи товщину діелектрика, висота включення газу у бік зовнішнього електричного поля E_d , поверхня S , перпендикулярна до поля E_d , та форма включення, наприклад плоскі, сферичні, овальні тощо, впливає на електричне поле E_s в джерелі розрядів і заряд q_r , переноситься в послідовні цикли. Імпульсний характер розрядів у внутрішніх включеннях обумовлений змінами напруженості електричного поля від E_{cz} до E_{cg} (відповідно E_{cz} , E_{cg} - Зародження та спад або зміни початкової U_{cz} і напруги вимирання U_{cg} в джерелі розряду (Фігура 1). Основна модель ЧР в включеннях газу в твердому діелектрику на основі еквівалентної схеми з 3 конденсаторами є так звана модель "a-b-c" системи ізоляції

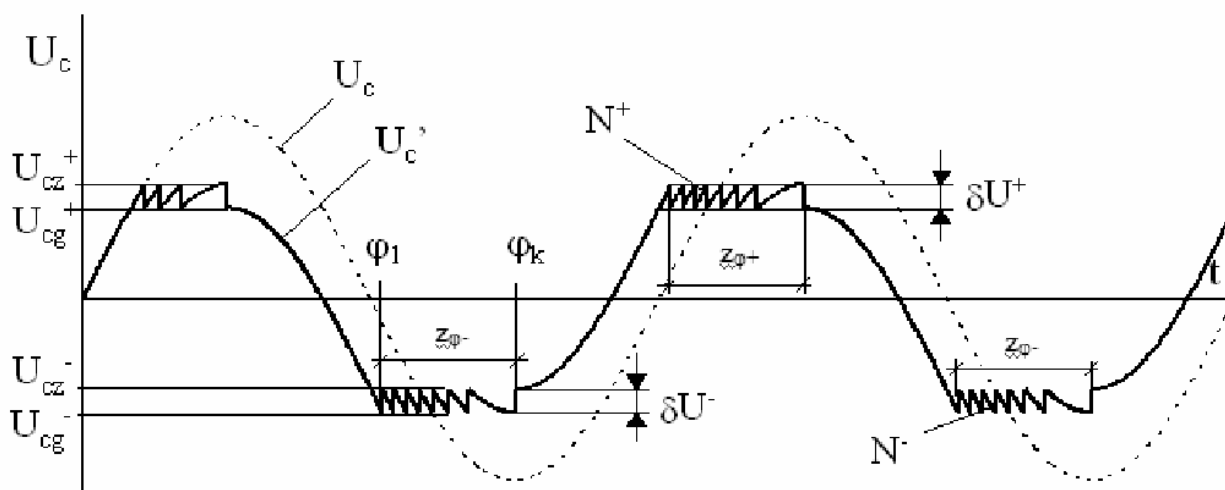


Рисунок 1. 1 Викривлена напруга U_c' у джерелі часткового розряду.

Викривлена форма сигналу U_c' у джерелі витoku визначає фазовий діапазон $z_{\phi\phi}$ в половині періодів, початковий фазовий кут ϕ_1 і фазовий кут кінцевого розряду ϕ_k , падіння напруги δU та кількість імпульсів ЧР в половині періодів N^+ і N^- . [2]

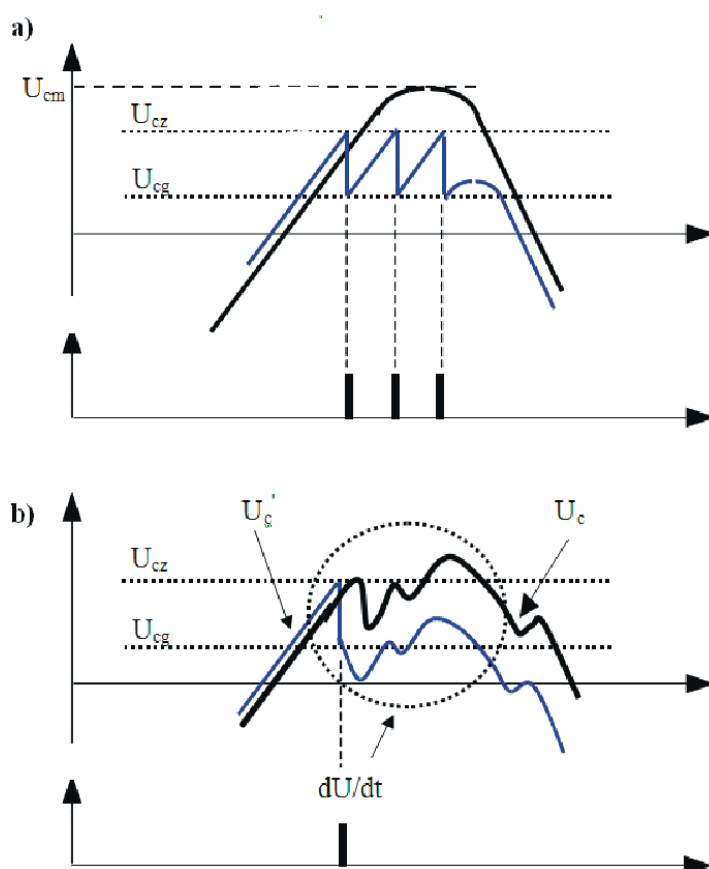


Рисунок 1.2. Зміна напруги в джерелі ПД на «чистому» і «гармонійному» напругах
а) механізми ЧР при "чистому" синусоїдальному випробувальному напрузі; б)
вплив гармонік на прикладену напругу на нульову напругу U_c' і ЧР. [2]

Простий механізм запуску ЧР, пов'язаний зі станом напруги, показаний на малюнку 2, де прикладена напруга являє собою чисті синусоїди та спотворену форму сигналу. У першому випадку, беручи до уваги пороги початку та вимирання, спостерігаються 3 імпульси ЧР (мал. 2а). В останньому випадку, коли присутні гармоніки, напруга пустот викривлена і ослаблена, внаслідок чого спостерігається лише 1 ЧР протягом половини періоду (мал. 2б). Таким чином, параметри та атрибути ЧР модулюються гармоніками.

Друга група дефектів (позначених як тип В) являє собою виступи мікрощелочей на поверхню провідника, прилеглі до твердої діелектричної / просоченої ізоляції паперово-масляного матеріалу, де умови для створення ЧР виникають внаслідок польових випромінювань. Висока сила локального електричного поля на мікро

Частота лопатки залежить від мікрогеометричного коефіцієнта $\beta = E_k / E_d$, що визначає поліпшення поля на кінці E_k у співвідношенні до середнього електричного поля E_d . Електронна емісія починається під час негативної поляризації наконечника електрода. Модель, що описує цей випадок для граничних поверхонь металу / твердого діелектрика, більш складна щодо випадку металу / газу.

1.3 ПРОЕКТИ, НАСТРОЙКА ТЕСТУВАННЯ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ УМОВИ

1.3.1 ТРАНСФОРМАТОР В МУНІЦИПАЛЬНІЙ МЕРЕЖІ

Під час нормальних умов експлуатації в напрузі живлення можуть виникати різні комбінації гармонік. Налаштування вимірювань для гармонічного та ЧР-набору на трансформаторі 6 кВ / 0,4 кВ, 20 кВА представлена на рисунку 3. Компонування вимірювання складається з трифазного автотрансформатора АТР, трансформатора живлення ТР1, кабелю живлення L1, коротких провідників L2 і експериментальний трансформатор ТР2. З боку подачі утворюється кабель L1 з довжиною 80 м, з'єднаний з 12 кВ VCB (вакуумний вимикач) і лінією L2 у вигляді провідників довжиною 2 м. Розрядник високої напруги (НВ) підключений до високовольтної сторони трансформатора ТР2 як для гармонічного, так і для ЧР. Щоб уникнути ефекту виток спектру було записано ціле число періодів [3].

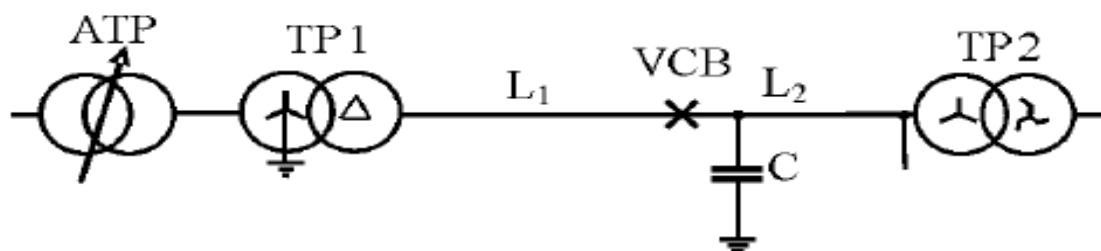


Рисунок 1.3. Налаштування вимірювання для сигналів напруги та отримання ЧР даних на трансформаторі потужністю 6 кВ / 0,4 кВ 20 кВА: ATP - автотрансформатор, TP1 - трансформатор живлення 250 кВА, TP2 - експериментальний трансформатор 6 кВ / 0,4 кВ 20 кВА, L1 - кабелі, L2 - короткі провідники, VCB - вакуумні автоматичні вимикачі, C - три 10 нФ конденсатори [2]

1.3.2 Зразок ТРАНСФОРМАТОРА

Геометрії імпортно-просочених зразків нафти представлені на мал.4. Механізм заснування пов'язаного із ним був обговорений вище. Моделі зразків представляють елементи обмотки трансформатора та містять характерні дефекти повороту до повороту, тобто мікрометричний виступ - тип А (мал. 4а) та включення газу. Зразки були утворені з прямокутних мідних дротів, обмотуваних папером. Відстань між провідниками становила 4 мм. Для дефекту типу А створено штучний мікрометричний виступ висотою 1 мм у середній частині одного прямокутного дроту. Дефект типу В отримав форму радіального включення газу діаметром 5 мм і висотою 1 мм, розташованого на відстані 1 мм від верхнього електродного дроту. Обидва зразки були поміщені під час вимірювань у масляному резервуарі. Висока напруга та земля були з'єднані з мідними дротами при кімнатній температурі.

електроприводи, дугові печі та інше, але також низькі енергонавантаження, такі як енергозберігаючі джерела світла, електронні джерела енергії. Вищезазначені ефекти частково придушені в електричних системах влади за допомогою вищих гармонічних фільтрів, головним чином налаштованих для зменшення 3, 5 та 7 гармонік. [4]

Існують різні стандарти, що визначають межі гармонічних спотворень у передачі електроенергії і розподіл, а також для комунальних та промислових підприємств, які також вважають довгострокові межі гармонічного контенту в мережах. Наприклад, межі гармонічного спотворення напруги, визначають найгірші умови для звичайних операцій. Відповідно до цього стандарту максимальне спотворення індивідуальних гармонічних напруг для напруги на шині нижче 69 кВ повинне становити 3%, а максимальний повинен становити 5%. Для рівнів напруги до 161 кВ гармонічні спотворення можуть становити 1,5%, а максимальні - 2,5%, тоді як для напруг вище 161 кВ допустимо до 1% та 1,5% відповідно. [5]

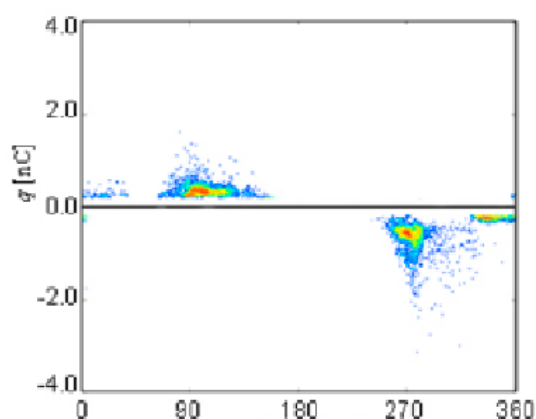
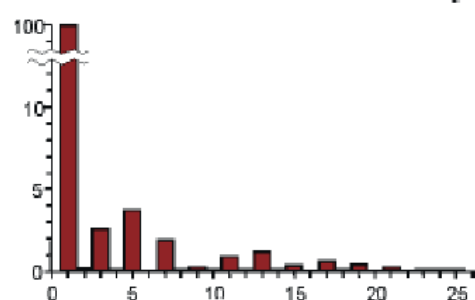
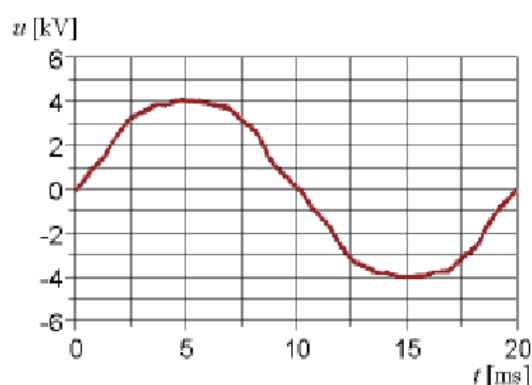
Це питання ускладнюється при розгляді різноманітного гармонічного змісту. Наявність гармонік у напрузі має декілька наслідків, таких як високі діелектричні втрати залежно від поєднання гармонічного числа, величини та фазового кута, а також впливу на внутрішні розряди. Цей документ ілюструє вплив гармонік на атрибути ЧР. Досліджуються вибрані комбінації 3-ї, 5-ї та 7-ї гармонік, включаючи варіації фазового кута. Цей аспект, висвітлений у цьому документі на обидва зразках, особливо важливий, оскільки така ж комбінація гармонік, тобто однакове значення спотворення форми сигналу, може генерувати різні рівні ЧР і доставляти принципово різні моделі ЧР. [4]

1.5.1 ТРАНСФОРМАТОР У МУНІЦИПАЛЬНІЙ МЕРЕЖІ

Напруга живлення, записана в два періоди часу, має відмінні гармонічні зміст, зображені як сценарії T1 і T2, записані протягом декількох годин один від одного.

Різні значення в різних меражах в різний час

Сценарій T1



Сценарій T2

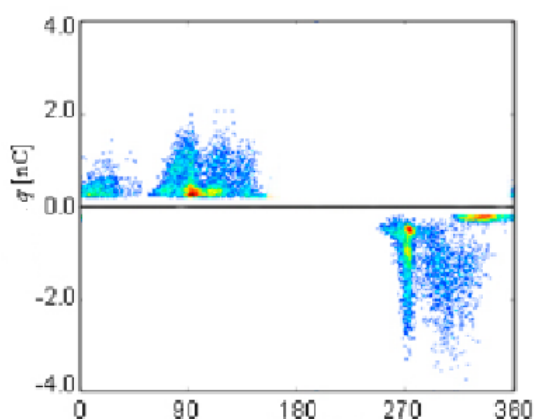
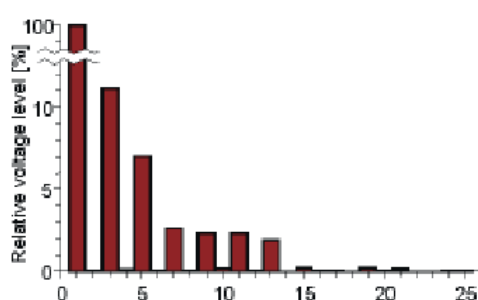
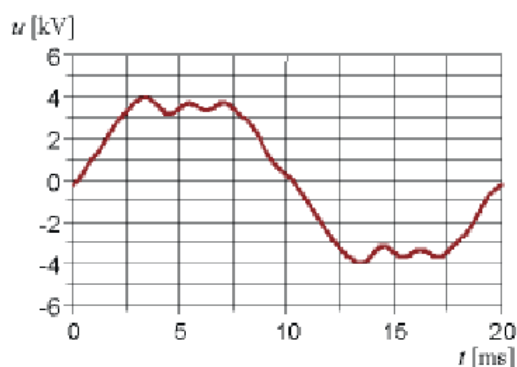


Рисунок 1.5. Вимірювання ЧР, виконані на одній фазі трансформатора 20 кВА для двох сценаріїв T1 та T2: форми напруги напруги (верхня частина), спектральний вміст (середній), часткові розряди D (φ , q , n) шаблонів (знизу). [2]

У сценарії T1 домінуючі 3, 5, 7-а гармонічні компоненти та амплітуди до 5% фундаментальних, тоді як 11-та, 13-а гармонічні компоненти мали свою амплітуду нижче 2% фундаментальних. У сценарії T2 гармонійний вміст набагато вище; компонент 3-ї гармоніки досягає 11% фундаментальних, 5-е - 7%, а 7, 9, 11, 13-а гармонічні компоненти мають амплітуду до 2% фундаментальних. Вимірювання ЧР,

отримані для сценаріїв T1 і T2, представлені на рисунку 6 (внизу), виявляють внутрішні розряди в системі ізоляції трансформатора, що виникають внаслідок природного старіння агрегату протягом його значного часу експлуатації. Основна мета полягала в тому, щоб продемонструвати, як ці моделі трансформуються в залежності від спектрального вмісту напруги живлення. Оскільки внутрішні дефекти ізоляції залишаються незмінними для обох сценаріїв T1 і T2, цей приклад підкреслює очевидний вплив гармонік на моделі ЧР. Зокрема, вищі гармоніки - це подрібнення шаблону, а через модуляцію схилу du / dt (мал. 6 - сценарій T2) збільшують максимальний рівень викиду, подвоєння рівня Q_{max} .

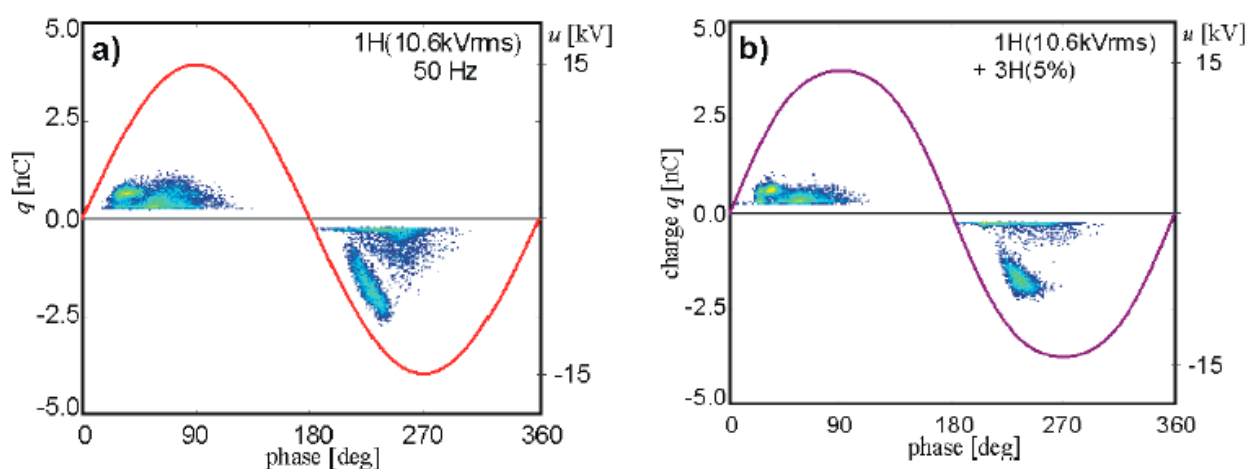
1.5.2 ЧР НА РІЗНИХ ЗРАЗКАХ

1.5.2.1 ТИП А

Шаблони ЧР показують накладення розрядів з виступу та всередині просоченої, ламінарної паперової ізоляції. Крім того, переважають розряди наконечника. Шаблони асиметричні відповідно до асиметричного дизайну зразка.

1.5.2.1.1 Вибрані композиції гармонік

Структура ЧР, отримана на зразку з випуском під напругою, яка складається з вибраних гармонік, показана на мал. 7. На графіку накладені відповідні форми напруги.



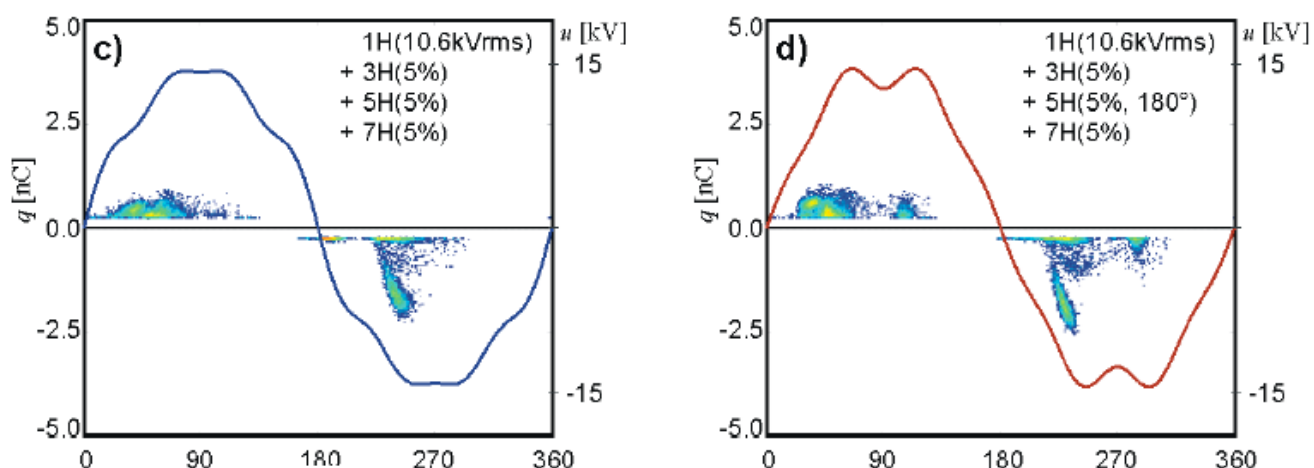


Рисунок 1.6. Шаблони ЧР, отримані при 10,6 кВ для окремих гармонічних композицій для зразків, що містять виступ (тип А) для наступних форм напруги напруги: а) синусоїдальні (S); б) S + 3H5%; в) S + [3H5% + 5H5% + 7H5%] 0°, д) S + 3H5% 0° + 5H5% 180° + 7H5% 0°. [2]

Малюнок 7а являє собою еталон, отриманий при спектрально чистому синусоїдальному сигналі при 10,6 кВ / м. Додавання 3, 5 та 7 гармонік на рівні 5% демонструє значно нижчу інтенсивність ЧР у порівнянні з чистою синусоїдальною футляром і додатково додає 5-ї гармоніки з фазовим кутом 180° результати в розщепленні основної ЧР групи на два підкласи (рис. 7d). Можна помітити, що місцеві екстремуми та варіації зміни місцевого схилу у формі напруги сигналу відображені в моделі ЧР.

1.5.2.1.2 Вплив фазового кута

Для візуалізації впливу гармонійного фазового кута на ЧР показано синусоїдальної форми напруги з величиною 15 кВ, що містить 3 гармонічні компоненти (150 Гц) при 5%. Еволюція схеми ЧР для чотирьох позицій фаз 0°, 90°, 180° та 270° представлена на малюнку 8. Відповідні сигнали напруги включені. Фазовий кут 180° (мал. 8с) демонструє різкість форми сигналу напруги та збільшує інтенсивність та інтенсивність ЧР відносно фази 0°. [7]

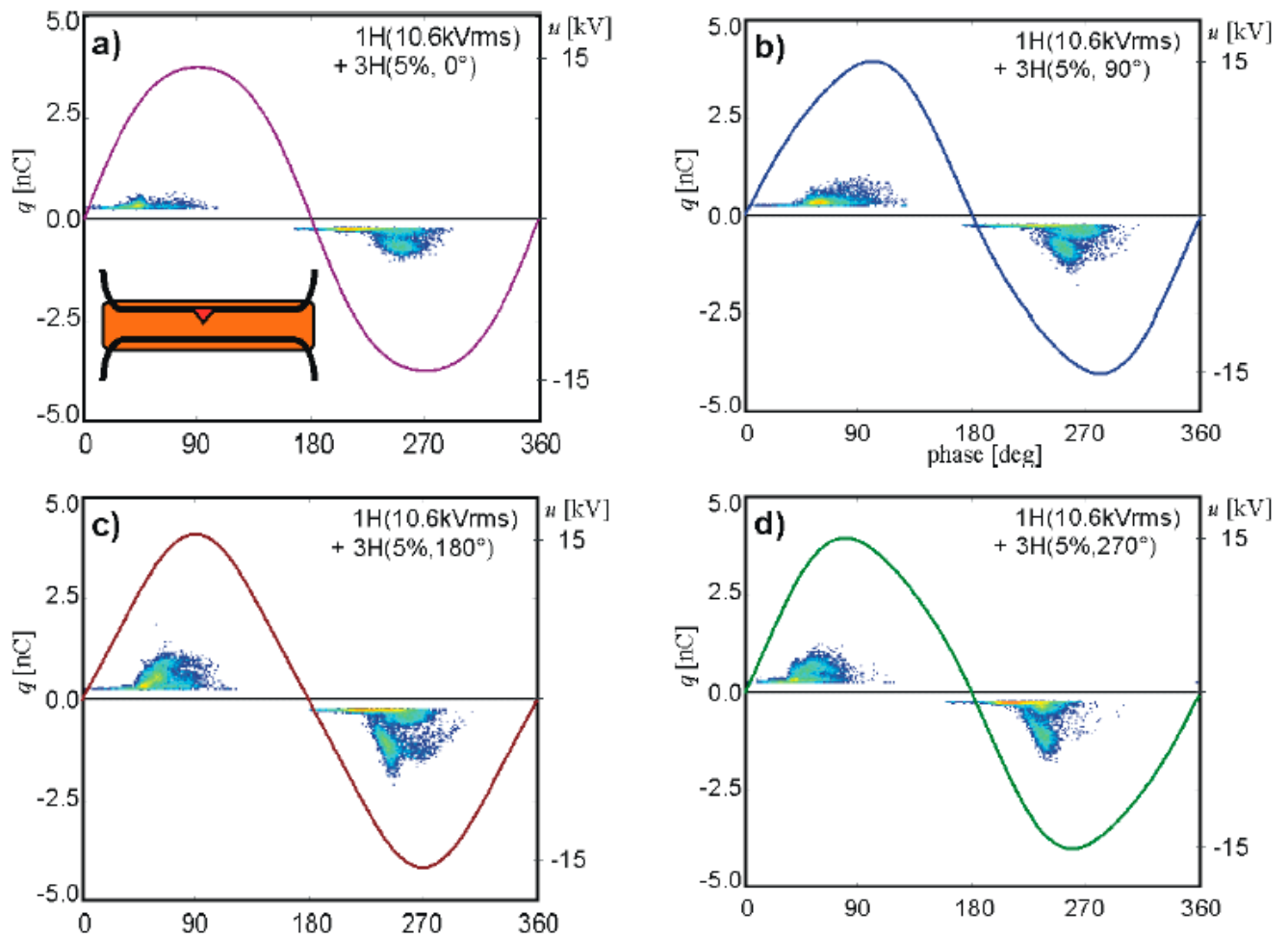


Рисунок 1.7. Еволюція моделі ЧР для зразка типу А при 10,6 кВ, сигнал з 5% від третьої шкоди, фазовий кут: а) 0° , б) 90° , с) 180° , д) 270° [2].

Це показує, що перехід третьої гармоніки з фазового кута 0° до 180° сприяє збільшенню кількості імпульсів в секунду від 46 до 144 і від 127 до 214 в позитивному та негативному періодах періоду відповідно.

Таблиця 1.1. Вплив фази третьої гармоніки на параметри ЧР [2].

No	3 гармоніка	N^+ [s ⁻¹]	N^- [s ⁻¹]	Q_{\max}^+ [nC]	Q_{\max}^- [nC]
1	0°	46	127	0.5	1.0
2	90°	99	147	1.1	1.2
3	180°	144	214	1.3	2.0
4	270°	105	202	1.25	1.9

1.5.2.2 ТИП Б

Вимірювання ЧР проводились на зразку Б, що містять включення плоского радіального газу, розміщені асиметрично між сусідніми поворотними проводами. Модель ЧР у цьому випадку може бути представлена схемою "а-б-с". У моделях ЧР виявляється домінуюча форма включення газу; однак слід зазначити, що мікропорожнини також можуть мати місце в ізоляції ламінарного паперу.

1.5.2.2.1 Вибрані композиції гармонік

Зразок ЧР, отриманий на зразку з включенням газу, піддається напрузі, що складається з вибраних гармонік, показаний на малюнку 9. Відповідні сигнали напруги накладаються. Малюнок 9а являє собою еталон, отриманий при чистому синусоїдальному сигналі спектральної форми.

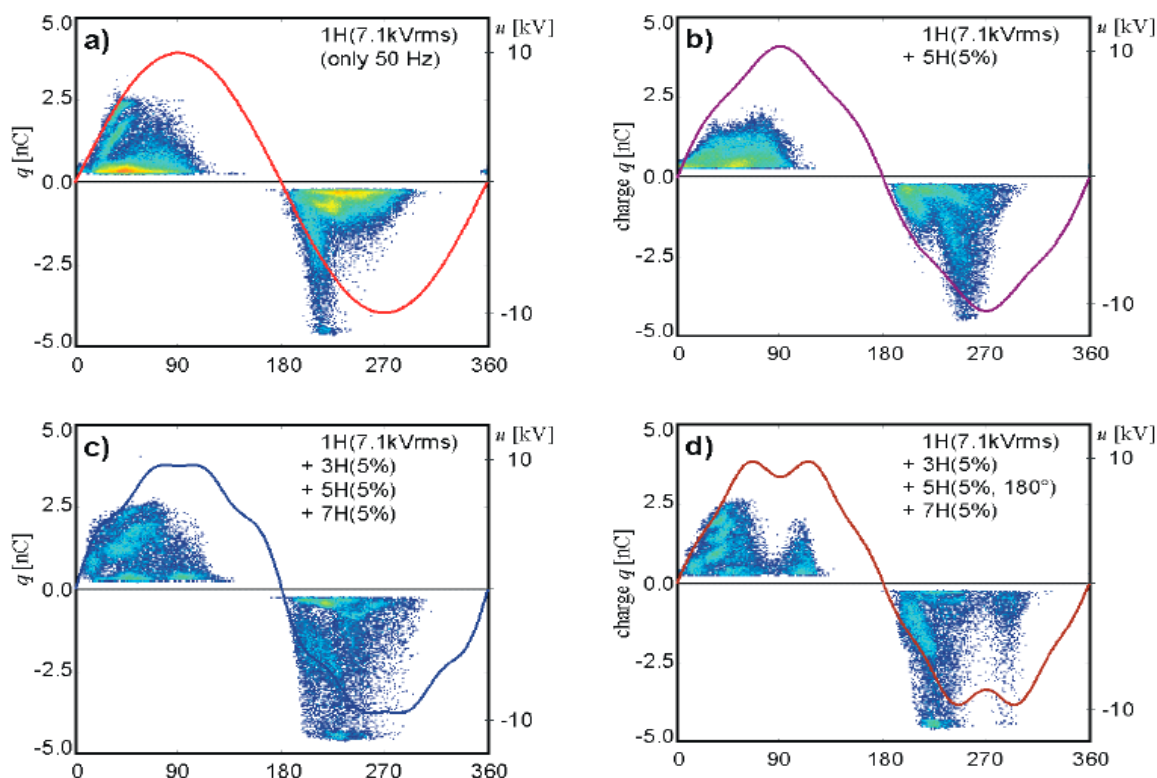


Рисунок 1.8. Шаблони ЧР, отримані при 7.1 кВ для окремих гармонічних композицій для включення зразків газу (типу Б) для наступних форм напруги напруги: а) синусоїдальні (S), б) S + 5H5%, в) S + [3H5% + 5H5% + 7H5%] 0°, д) S + 3H5% 0° + 5H5% 180° + 7H5% 0° [2]

Додавання 3-ї, 5-го та 7-го гармонічних компонентів на рівні 5% істотно змінює вихідний малюнок, отриманий з чисто синусоїдального збудження. Композиція цих гармонік послаблює інтенсивність розряду з точки зору кількості скидів. Крім того,

у випадку 5-ї гармоніки, яка зміщена на 180° , створюється мертва зона ЧР близько 90° та 270° (малюнок 9d).

1.5.2.2.2 Вплив фазного кута

Для того, щоб висвітлити вплив фазового кута на ЧР, проведено дослідження синусоїдальної напруги з піком величини 10 кВ, що містить 3 гармоніку (150 Гц) при 5%. Еволюція схеми ЧР для чотирьох позицій фаз 0° , 90° , 180° та 270° представлена на мал. 10, з накладками сигналів на ділянку.

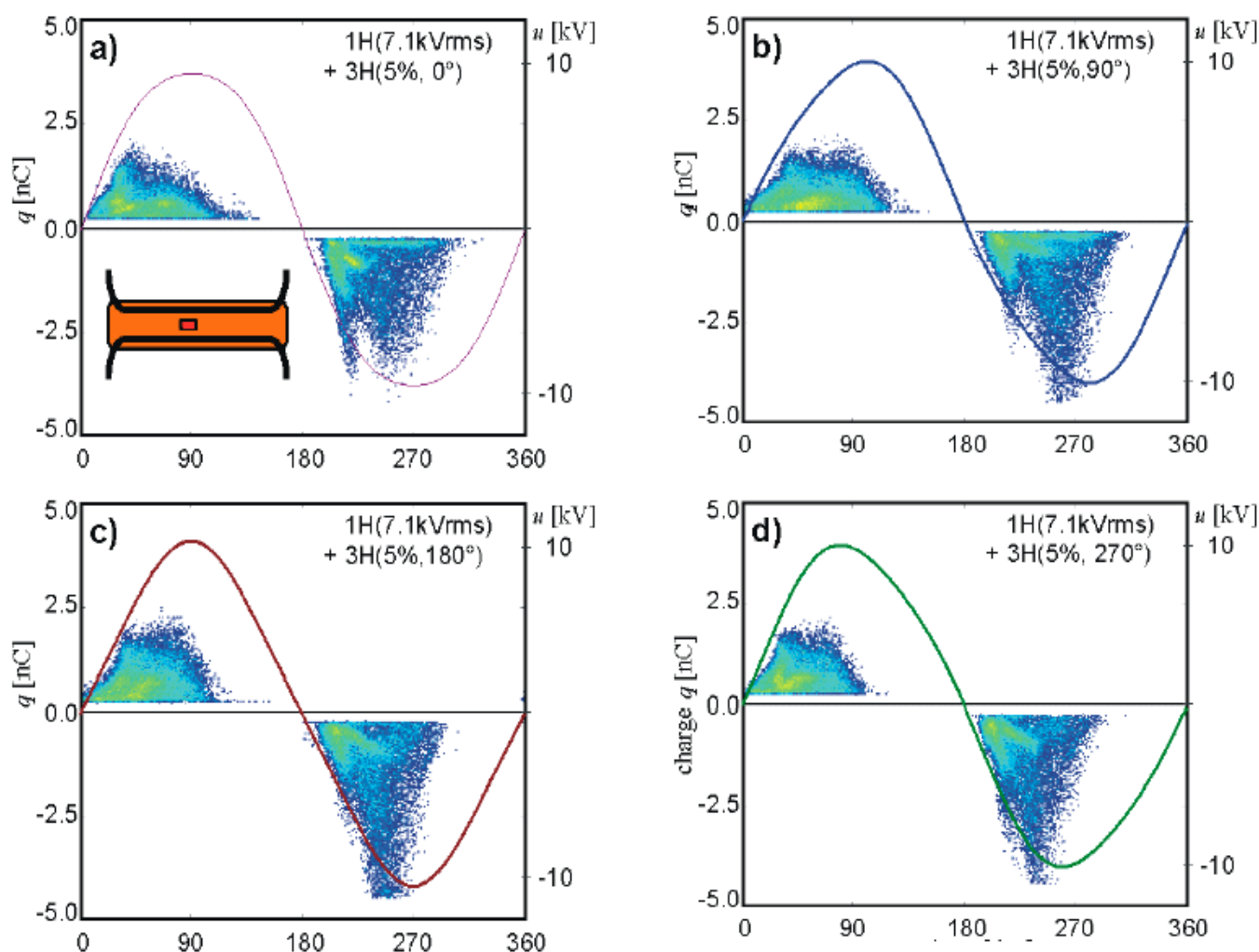


Рисунок 1.9. Еволюція моделі ЧР для зразка типу Б при 7,1 кВ, напруга, що становить 3-ма шкода. при 5% та фазовому куті а) 0° , б) 90° , в) 180° , д) 270° [2].

Кількість імпульсів ЧР та максимальних магнітних зарядів у позитивних та негативних періодах напруження для позицій з 4 положеннями фаз узагальнені у Таблиці 2.

Таблиця 1.2. Вплив фази третьої гармоніки на параметри ЧР[2]

No.	3 гармоніка	N^+ [s ⁻¹]	N^- [s ⁻¹]	Q_{\max}^+ [nC]	Q_{\max}^- [nC]
1	0°	397	343	2.1	3.8
2	90°	490	413	2.3	4.4
3	180°	464	370	2.4	4.5
4	270°	413	334	2.3	4.5

Під час переходу фазового кута третьої гармоніки від 0° до 90 ° (малюнок 10b) інтенсивність розряду збільшується на 20%. Можна спостерігати подовження ЧР кластера в негативний півперіоду та збільшення Q_{\max} від 3 до 5 нС.

1.5.2.3. ФАЗНИЙ ЗСУВ

Щоб візуалізувати вплив фазового зсуву індивідуальної гармоніки на перехід інтенсивності ЧР та максимального заряду для обох зразків типу А і В, безперервне розмивання фазового кута 3-ї та 5-ї гармонік в діапазоні від 0° до 180° Впродовж 60-секундного періоду часу показано на малюнках 11 і 12, рівень 3-ї та 5-ї гармоніки дорівнює 5%. Таким чином, лише фазовий кут впливає на форму форми сигналу часу. Додавання цих гармонік до основної синусоїдальної компоненти призводить до зміни пікової напруги та часової похідної du / dt вздовж фази. Розподіл заряду та кількість імпульсів показані для обох випадків. [2] [6]

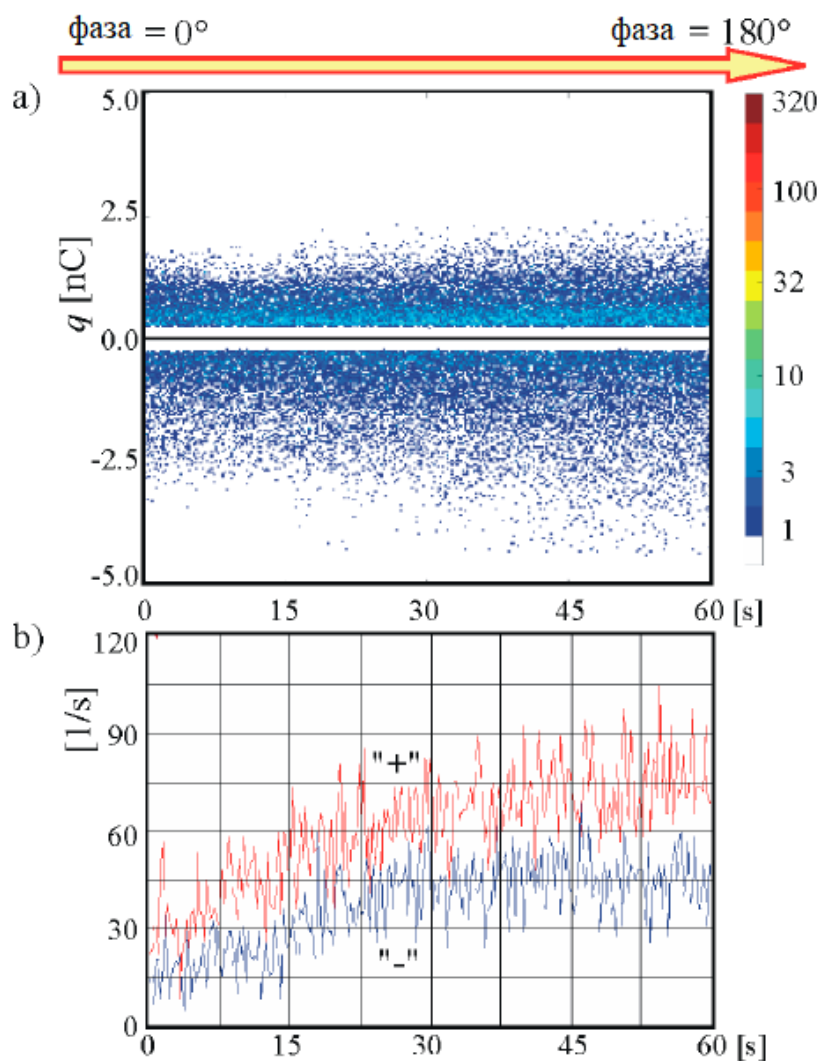


Рисунок 1.10. Варіація заряду та інтенсивності ЧР при безперервному розмиті 3-го гармонійного фазового кута в діапазоні від 0° до 180° , накладеного на синусоїдальний компонент, протягом 60 секунд; зразок типу Б - включення газу, $U = 7,1$ кВсм. [2]

Відхилення заряду та інтенсивності ЧР під час безперервного розмивання 5-го гармонічного фазового кута в діапазоні від 0° до 180° , накладене на синусоїдальний компонент, протягом 60 секунд для включення зразка типу Б-газу показано на малюнку 12. Порівняння На малюнках 11b та 12b показана протилежна тенденція, тобто варіація 3-ї гармоніки від 0° до 180° призводить до збільшення інтенсивності ЧР, тоді як однаковий перехід для 5-ї гармоніки дає зменшення інтенсивності ЧР.

Збільшення активності ЧР може бути співвіднесено з фазовим кутом, що призводить до ефективного збільшення значення гребеня комбінованого сигналу.

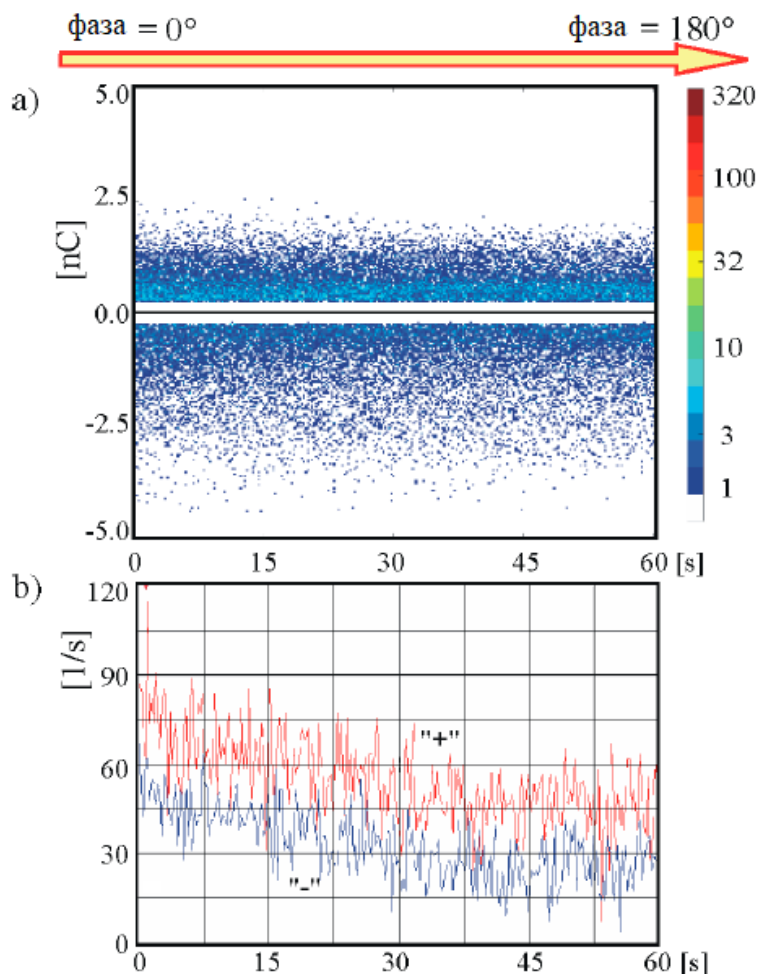


Рисунок 1.11. Варіація заряду та інтенсивності ПД під час безперервного розмивання 5-го гармонічного фазового кута в діапазоні 0° – 180° , накладеного на синусоїдальний компонент, протягом 60 секунд; зразок типу Б - включення газу, $U = 7,1$ кВсм. [2]

Представлені результати показують, як основний вплив гармонік, що виникає при застосуванні напруги при вимірах ЧР, може впливати на експериментальні результати. В трансформаторі, що працює в муніципальній мережі, отримане в двох різних часових інтервалах, збуджених двома абсолютно різними формами напруги щодо гармонічного вмісту (рис. 6), показують зовсім інші шаблони та максимальні рівні заряду. Такий випадок, характерний для діагностики в автономному режимі / автономному режимі або моніторингу ЧР, підкреслює необхідність одночасного запису напруги під час тестування. Висновки важкості ЧР повинні бути зроблені

разом із спектральним аналізом прикладної напруги.

Дослідження, проведені на зразках (типу А та Б), що містять характерні дефекти, що виникають в ізоляції трансформатора, показали вплив гармонік на ЧР в наступних аспектах:

- максимальний заряд Q_{\max} ,
- початкова напруга
- інтенсивність (кількість скидів).

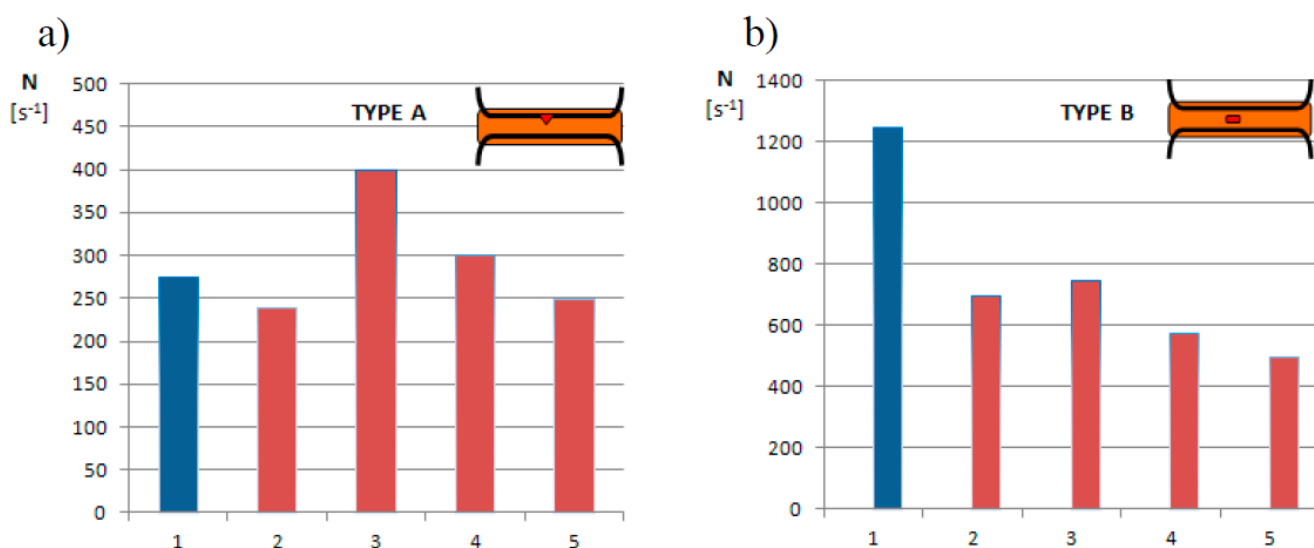


Рисунок 1.12. Кількість імпульсів ЧР для вибраних гармонік у зразках при: а)

типу А, б) типу В де: 1) $\sin(S)$; 2) $S + 3H5\%$; 3) $S + 3H5\% 180^\circ$; 4) $S + [3H5\% + 5H5\% + 7H5\%] 0^\circ$; [2]

5) $S + 3H5\% 0^\circ + 5H5\% 180^\circ + 7H5\% 0^\circ$

Як видно на мал. 14, гармонійна комбінація може збільшувати або пом'якшувати інтенсивність ЧР при використанні синусоїдального виміру. Обрана гармонійна композиція виявляла як варіації для зразка А, так і зменшення інтенсивності по відношенню до чистої синусоїди для всіх композицій у випадку зразка типу Б (рис. 14б). Синусоїдальний сигнал, модульований гармоніками, може виявляти вищу величину гребеня U_{\max} , ніж фундаментальний синусоїдальний слід і створює кілька

локальних екстремумів. Максимальний заряд Q_{\max} асоціюється з збільшенням крутизни на місцевості схилу du / dt і слідує U_{\max} . Можна спостерігати, що локальні екстремуми у формі напруги сигналу відображені в моделі ЧР.

Таким чином, представлені результати підкреслюють високу чутливість вимірювань ЧР до гармонік напруги. Вимірювання на місці повинні включати одночасне спостереження за спотворенням напруги. Грубі параметри, що відображають спектральну якість сигналу, є досить поверхневими і не забезпечують унікального та надійного сигналу прикладеної напруги, особливо щодо фазових кутових змін (мал. 8, 10, 11 і 12). Таким чином, рекомендується, наприклад, для аналізу тренду ЧР, розглядати цей спектр напруги, включаючи вищі гармоніки. Крім того, у випадку фазових вимірювань величина і фаза напруги можуть бути динамічно модульовані під час ЧР і впливати на правильну інтерпретацію моделей та отриманих статистичних параметрів. [7]

Особливу увагу слід приділяти діагностиці ПД на основі еталонного сигналу, отриманого при синусоїдальній напрузі, і порівнянні з фактичним отриманим на місці при спотвореній напрузі.

Експериментальні результати підкреслювали, що різні гармонічні композиції, накладені на фундаментальні синусоїдальні сигнали, мають значний вплив на інтенсивність ЧР та максимальний заряд. Внаслідок цього розподіли ЧР, фази та амплітуди спотворюються і впливають на отримані статистичні параметри.

Зроблено висновок, що знання гармонічного вмісту прикладеної напруги є суттєвим і критичним для належної оцінки впливу ЧР.

2. ВПЛИВ ВИСОКИХ ГАРМОНІК НАПРУГИ НА ЧАСТКОВИХ МОДЕЛЯХ РОЗРЯДУ

Тут описується вплив гармонік високої напруги на часткові розрядні (ЧР) фази, показані зображення. Показано, що зміни цих образів залежать від параметра загального гармонічного спотворення (ЗГС) як коефіцієнта оцінки, обчисленого за допомогою швидкого перетворення Фур'є (ШПФ).

2.1 ПРОБЛЕМА ВПЛИВУ ВИСОКИХ ГАРМОНІК НАПРУГИ НА ЧАСТКОВИХ МОДЕЛЯХ РОЗРЯДУ

Проблема гармонічного впливу є загальною для всіх вимірювань, заснованих на придбанні зображень з частковим розрядом, що вирішені фазою. Ефект від несинусоїдальної напруги на електричних мережах полягає у появі гармонік. Це явище має вирішальне значення для правильної ідентифікації та класифікації моделей ЧР. Сьогодні в роботі та в об'єктах вимірювання проводиться чиста синусоїдальна напруга випробувань без урахування гармонійних спотворень. Метою даного дослідження є продемонструвати вплив гармонік на зображення ЧР та можливу неправильну інтерпретацію. "Випробувальна напруга" означає в цьому документі високу напругу (ВН) на випробуваному об'єкті, що викликає часткові розрядки. Вміст гармонік у сигналі ВН не повинен змішуватися з імунізаціями синхронізуючого сигналу, який використовується в системах збуту, що вирішуються в реальному масштабі часу. Традиційно, враховуючи тестову напругу, враховується тільки: - частота - напруга, коефіцієнт середньоквадратичного або пікове значення. Параметр, який показує спектральну чистоту випробувальної напруги, і який слід розглянути як повне гармонійне спотворення (ПГС), яке іноді називається відносний Гармонійний вміст (ВГВ) і розрахований, як показано:

- ПГС повне гармонійне спотворення
- ВГВ відносний Гармонійний вміст

$$\text{ПГС} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\alpha} U_n^2}}{U_s}$$

де:

U_s - амплітуда сигналу

U_n - гармонійна амплітуда (починаючи з другої)

Гармонічні спотворення можна виміряти, дивлячись на вихідний спектр і спостерігаючи значення другого, третього, четвертого і т. д. значення гармонік відносно амплітуди основного сигналу. Значення, як правило, виражається як співвідношення в %, ppm або dB. [12]

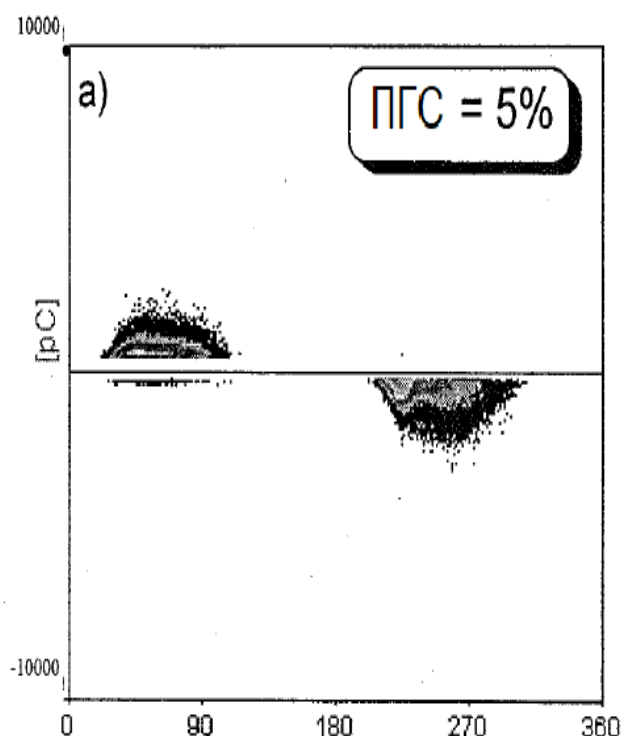
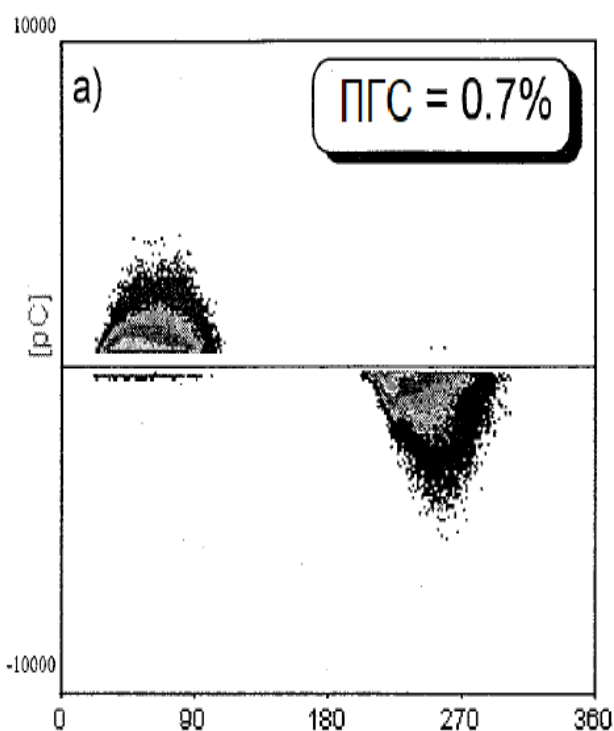
2.2 ЧР показники

ЧР візуалізуються як зображення карти та продукти, зареєстровані в тій же шкалі зарядів. Інтенсивність кодується сірими рівнями. Спектральний аналіз випробувальної напруги перформований до 1600 Гц, тобто до 32 гармонік. але кількість гармонік, що входять до вимірювання, може відрізнитися, звичайно навіть перші п'ятнадцять вистачить. ПГС розраховано за допомогою алгоритму швидкого перетворення Фур'є, підсумовуючи парні та непарні компоненти гармонік з спектрального аналізу. На всіх представлених спектральних графіках горизонтальна вісь відповідає частоті, а вертикалі - логарифмічну амплітуду у відсотках.

Всі дані на напрузі 10 кВ, частота 50 Гц і змінювалася лише вмістом гармонік. Часткові розряди, показані на мал. 1, були зареєстровані при майже чистому синусоїдальному напрузі ПГС = 0,7%. Це зображення можна розглядати як еталонний рівень. Наступний (мал. 2) при $T_m = 5\%$ (введено 3 гармоніки), що призводить до зображення ЧР з мініатюрним ослабленням. Далі вміст 3-ї гармоніки збільшений до 17% (мал.3), а на мал.4, 5-а гармоніка застосовується на рівні 11%. Помітна протилежна фазова симетрія при фазових розподілах (рис. 3b та 4b), а також розщеплення та затухання, спостережувані на зображеннях (рис. 3a та 4a), що спрацьовують лише за гармонічними маніпуляціями. Введення 1-ї гармоніки (ПГС =

11%, мал. 5) призвело до розвитку та набагато більшого максимального заряду, а також у звичайних фазових проміжках.

Як показано, вміст гармонік в випробувальному напрузі є зовнішнім фактором, який визначає фізичні умови для скидів в системі електричної ізоляції. Викривлення в прикладній хвилі впливає на кількість випусків, індивідуальний заряд і фазове положення. Механізм зміни зображення ЧР полягає у локальному зменшенні та збільшенні нахилу напруги. Тенденція визначається комбінацією гармонік (рівна і непарна фракція), а також гармонійною величиною. Локальний мінімум може навіть зупинити появу ЧР, або призвести до "фазової затримки". Слід зазначити, що під час вимірювання, що займає, як правило, кілька сотень секунд або хвилин, індивідуальна гармоніка може зникнути або з'явитися, що призводить до накопиченого зображення "модуляції". Справді, в реальному комплексному діагностичному діагностиці ЧР або моніторингу, як представляється, неможливо обробляти розбиття та відновлення зображення пізніше.



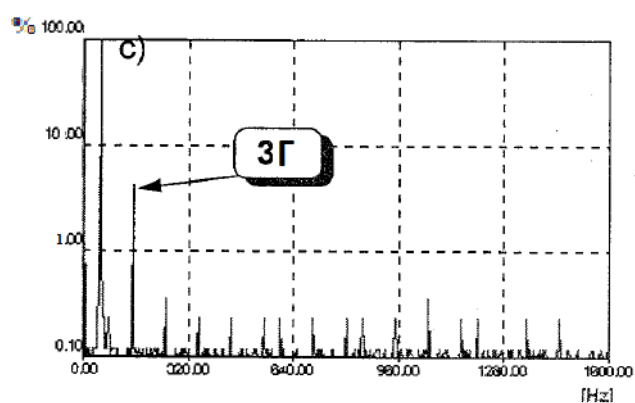
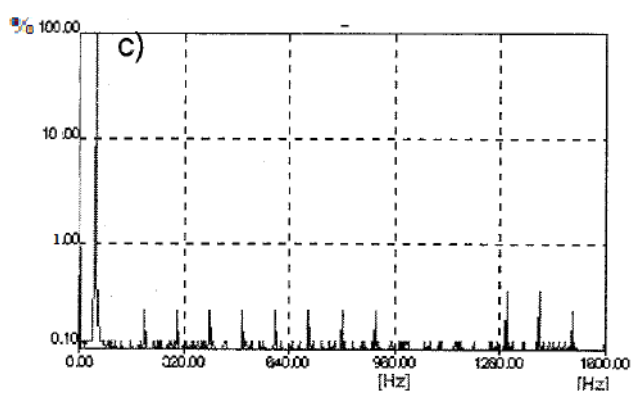
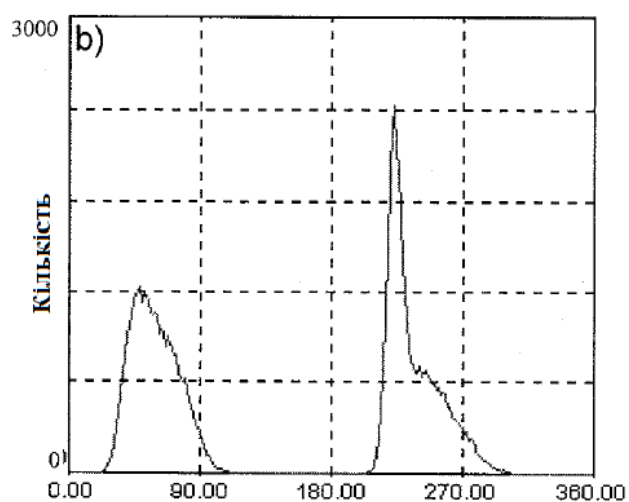
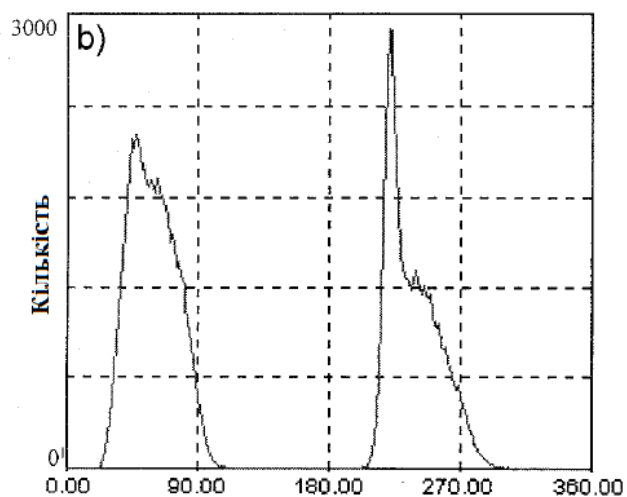
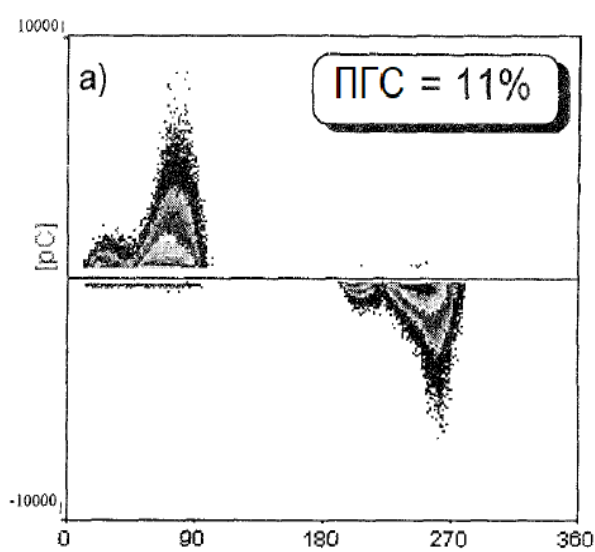
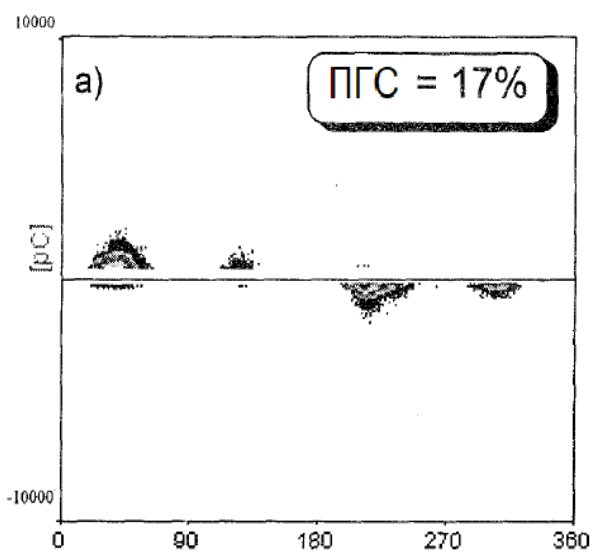


Рисунок 2.1 Майже чиста синусоїда (0.7%) [12]

- а) Часткові розряди
- б) Розподіл по фазам
- с) Випробувальний спектр напруги

Рисунок 2.2 3-а гармоніка (5%) [12]

- а) Часткові розряди
- б) Розподіл по фазам
- с) Випробувальний спектр напруги (150 Hz)



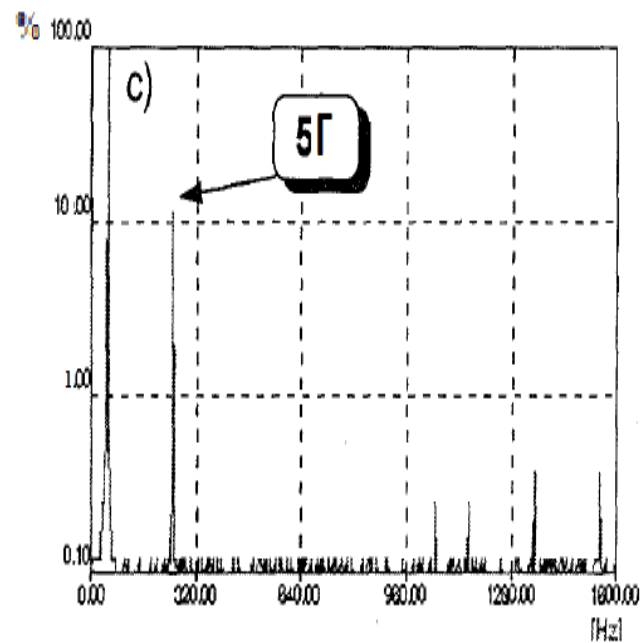
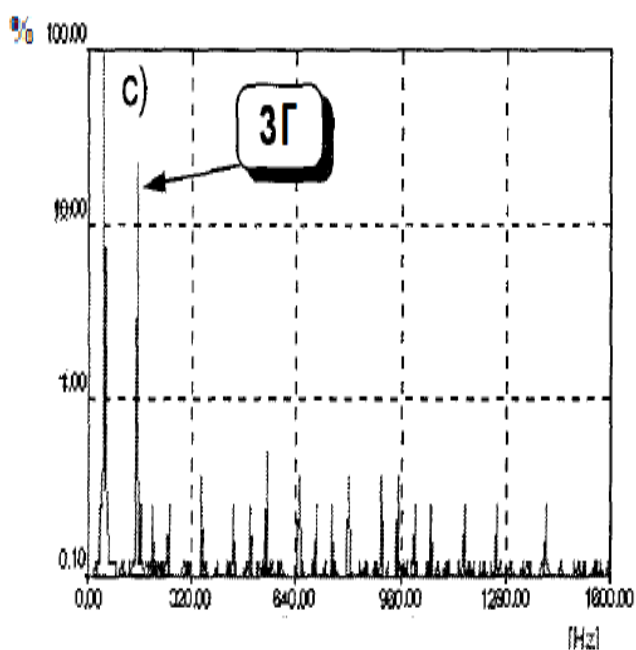
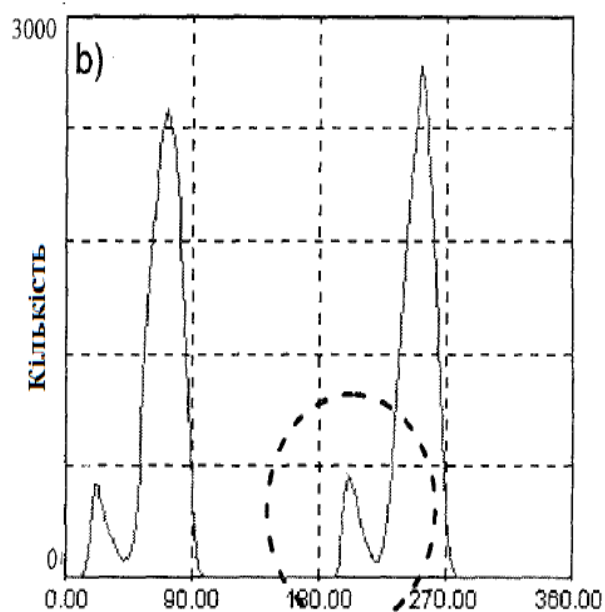
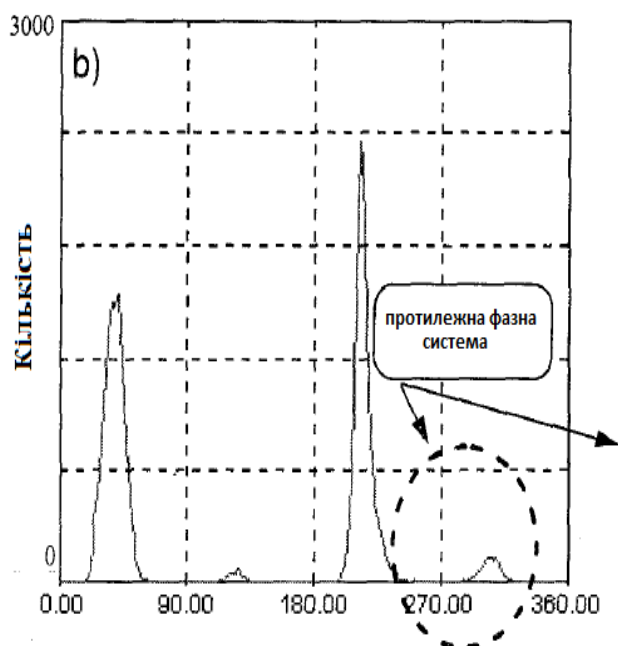


Рисунок 2.3 3-а гармоніка (17%)[12]

а) Часткові розряди

б) Розподіл по фазам

с) Випробувальний спектр напруги
(150 Hz)

Рисунок 2.4 5-а гармоніка (11%)[12]

а) Часткові розряди

б) Розподіл по фазам

с) Випробувальний спектр напруги
(250 Hz)

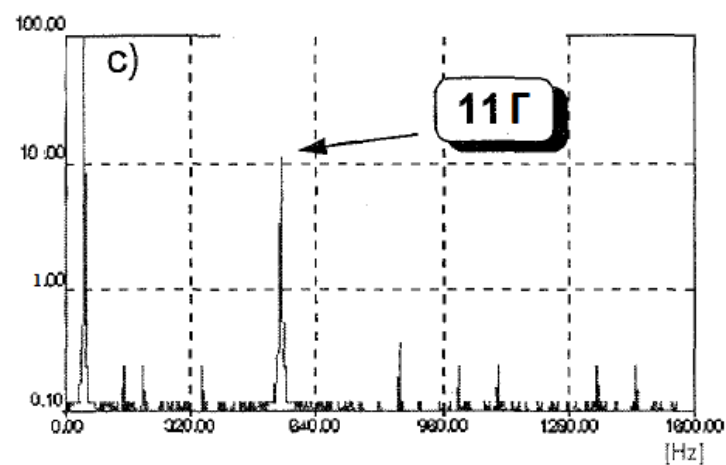
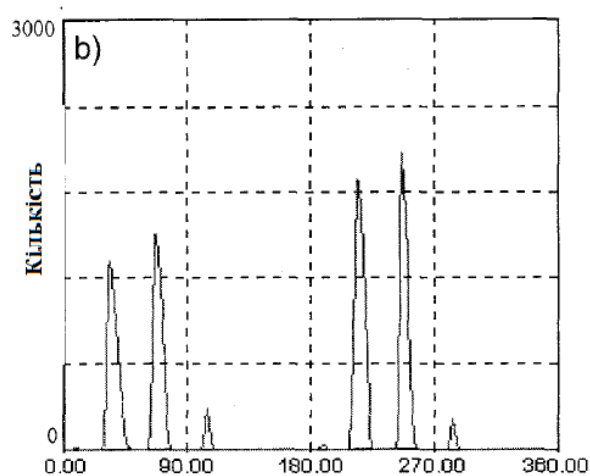
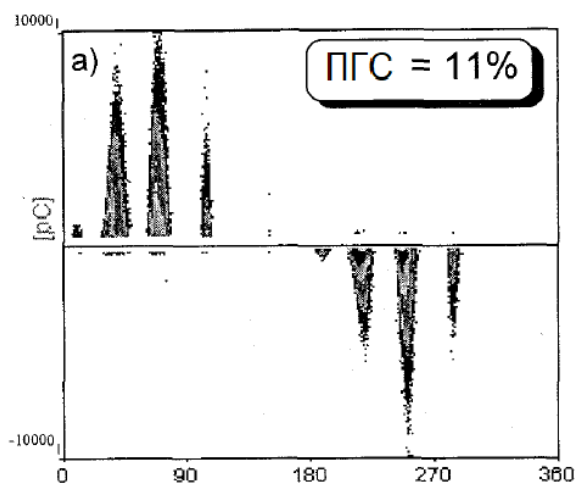
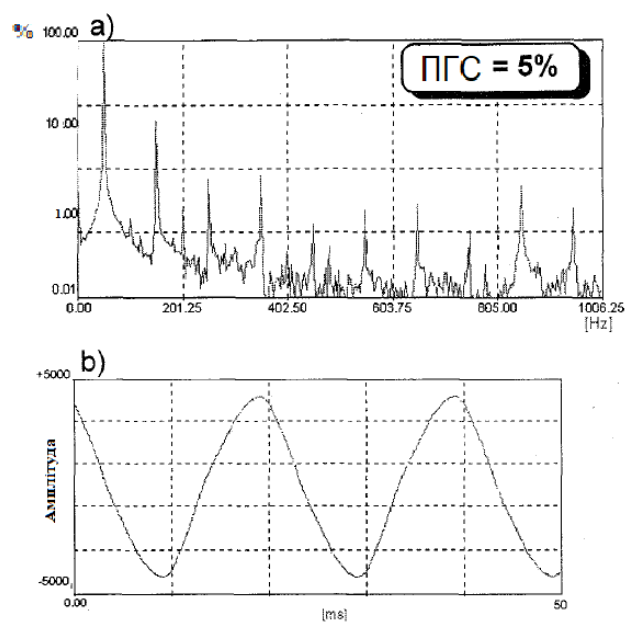


Рисунок 2.5 11-а гармоніка (11%)[12]

- а) Часткові розряди
- б) Розподіл по фазам
- с) Випробувальний спектр напруги (550 Hz)



Мал 2.6 Випробувальна напруга, отримана при вимірюванні ЧР [12]

- а) Спектр
- б) Сигнал

Тестова напруга, отримана при вимірюванні ЧР, показана на рисунку 6. Гармонічні спотворення на рівні $m = 5\%$, присутні в сигналі, навіть не видно в часі (мал. 6б), але можна легко розпізнати в спектрі (мал. 6а).

Зображення з частковим розрядом демонструють сильну залежність від спотворення гармонік високої напруги. Такий випадок важливий для фазових вимірювань, де події ЧР накопичуються та перекриваються кожним періодом у той самий масив. Коли під час вимірювання в випробувальному напрузі з'являється гармонійний зміст, ефективно зображення ЧР буде спотворюватися. Особлива увага повинна приділятися в разі ідентифікації банку даних та параметричної класифікації. Через цю "чутливість", як видається, рекомендується включати модуль аналізу гармонік в системи ЧР, а не тільки для вимірювання пікової або середньоквадратичної вартості та частоти, а також відстеження форми випробувальної напруги. Як найпростіший спектральний фактор оцінки запропоновано загальне гармонійне спотворення. [8]

3. МОДЕЛЮВАННЯ ЧАСТКОВИХ РОЗРЯДІВ ЗА НАЯВНОСТІ ГАРМОНІК

3.1 ТЕОРИТИЧНИЙ ПІДХІД

Гармоніки - це частотно-доменні уявлення, які можуть збільшувати пік, середньоквадратичну швидкість та швидкість зміни прикладеної напруги. Невеликі варіації вмісту гармонік можуть призвести до суттєвих змін вимірюваних моделей часткового розряду. Це експериментальне дослідження прагнуло змодельовати часткові розряди за рахунок електричного дерева як наслідок різноманітного гармонічного змісту, що знижує якість енергії.

Повні гармонійні спотворення (ПГС) та хвильовий шар (Ks) змінювались максимально до 40% та 1,6 відповідно. Шість гармонік (5, 7, 11, 13, 23 та 25) одночасно накладалися на основну частоту (50 Гц). Електричні дерева були є при постійній напрузі 8,4 кВ та 14,4 кВ. Моделювання часткових розрядів

активності з функцією $\left(V + \frac{dV}{dt} \right)$ забезпечує хорошу підгонку для ідентифікації піків і періодів відсутності активності часткових розрядів («мертві зони») на фазових-дозволені ділянках часткових розрядів. Форми хвиль із збільшеною величиною 7-ї гармоніки виробляли лише аномальні результати, які не відповідали функції. [13]

Діагностичні етапи розв'язування часткових розрядів дуже залежать чи присутня наявність гармонічного вмісту на чисто синусоїдальній напрузі збудження. Фактори, включаючи фазові співвідношення та величину гармонічного вмісту відносно фундаментальної, можуть впливати на результуючу хвилю, що потенційно може призвести до наступних ефектів:

- зміни максимальної величини розряду;
- зміни в фазовому розташуванні активності розряду.
- Зміни в щільності числа розрядів.
- Зміни в регіонах, які не мають розрядів, відомі як "мертві зони".
- Асиметрична розрядність для позитивних та негативних циклів.

Ці зміни в часткових моделях розряду вводять в оману і може привести до помилкових висновків про цілісність ізоляційного слою. Різні ступені гармонік зустрічаються в реальних електричних мережах, і вони також часто існують у лабораторних джерелах напруги. Таким чином, вплив гармонік повинні бути визнані і враховані в усіх вимірюваннях часткових розрядів. [9]

Раніше автори визначили необхідність визначити робочі напруги та навколишнє середовище експлуатації, використовуючи моніторинг стану для цілей управління активами та назвавши це "моніторинг обставин".

3.2 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ ПІДХІД

Часткове розрядне навантаження зафіксоване з зразків епоксидної смоли геометричної поверхні, що містять електричні дерева. Голка (радіус = 3 мкм, довжина = 51 мм і діаметр = 1,1 мм) встановлювали з розривом в точці плоскості $2 \pm 0,5$ мм. Зразки виготовляли з епоксидною смолою, укладеної в порожнистою трубці акрилового квадрата з боку = 25 мм.

Є три етапи росту електричного дерева, це:

- дитинство тільки після ініціювання
- помірне розкидання дерева - дерево на півдорозі через щілину
- широке дерево розповсюдження - дерево пройшло ізоляційний проміжок

Кожен зразок підданий всіма семи варіантам, наведеним нижче в таблиці 1, або при 10 кВ або при 14,4 кВ.

ϕ визначається як різниця фаз між гармонічними компонентами та фундаментальною відносно першої.

K_s визначається як пропорційна міра для результуючої похідної від композитного сигналу. Таким чином, K_s є показником крутизни хвилі та може бути описана як міра одиниці часу зміни електричного поля діелектрика (відносно не спотвореної синусоїдальної форми сигналу). [13]

Хвиля No.	Гармонійний склад + 50 Hz			K_s	ПГС %
	Порядок гармонік	% Кожної гармоніки	φ		
1	3	40.0	0	1.56	40.0
7	1	0.00	0	1.00	0.00
8	5	5.00	0	1.03	5.00
9	7	5.00	0	1.06	5.00
11	7	17.8	0	1.60	17.8
12	5,7,11,13,23,25	3.20	0	1.60	7.85
13	5,7,11,13,23,25	2.00	0	1.27	5.00

Таблиця 3.1: Властивості семи форм випробувань [13]

Кожна форма сигналу була послідовно застосована не більше п'яти хвилин. Забезпечення достатньої часткової скидної активності було зафіксовано протягом цього періоду. Ініціалізація кожної послідовної композиційної хвилі відбулася без вимкнення джерела напруги. Це забезпечило мінімальні ефекти за рахунок попередніх форм сигналу, таких як залишковий запасаний простір, що впливає на придбані часткові схеми викидів.

3.3 МОДЕЛЮВАННЯ ЧАСТИЧНОГО ЗБЕРЕЖЕННЯ

Розуміння того, чому зміни форми форми хвилі створюють різноманітний частковий розрядний принцип, є критичним для моделювання активності часткового розряду. Пояснення в літературі розглядаються головним чином на дію миттєвого значення напруги як домінуючого стану для часткового розряду, одночасно визнаючи роль похідної при виробленні шаблону часткового розряду. Це підтвердило синергетичну взаємозв'язок між обома параметрами, тобто V та dV/dt . Проте роль похідної не була повністю пояснена і не моделюється разом з значенням миттєвої напруги, хоча електричне поле є збудником. Різке і аномальні особливості в композитних сигналах є рецептом значно збільшеної величини dV/dt . Це може спонукати перевантаження впливати на частковий розряд, за величиною та появою. Розглянемо

контрольний сигнал Діаграми, що складається з шести гармонійних порядків (5, 7, 11, 13, 23 та 25). Хоча часткові величини розряду різняться, вони відбувалися на піднімаючому краю схилу dV/dt , а не пікові. Також існують "мертві зони", де не відбувається скидання активності, але величини схилу dV/dt були порівнянними з фазовими місцями, де відбулися викиди.

Евристичний підхід передбачав, що з тих пір, як "мертві зони" виникали у 2-му квадранті, де $V > 0$ з $dV/dt < 0$, а також у 4-му квадранті, де $V < 0$ з $dV/dt > 0$, порог, заснований на полярності та величині, обумовлений комбінований ефект V та dV/dt існує для виникнення часткових розрядів. [13]

3.4 ГІПЕРБОЛІЧНІ ФУНКЦІЇ

Математичне моделювання таких тенденцій найкраще відобразатиметься за допомогою квадратичних і кубічних функцій. Це призвело до застосування тригонометричних гіперболічних функцій, \cosh та \sinh . На малюнку 1 графіки цих функцій (\cosh та \sinh) ілюструють збільшені значення, тим самим сприяючи посиленню підвищених V і dV/dt величин. Це дозволило платформі застосувати рівняння, що виражає зв'язок між функціями \cosh та \sinh .

$$\cosh\left(V + \frac{dV}{dt}\right) = \cosh(V) \cosh\left(\frac{dV}{dt}\right) + \sinh(V) \sinh\left(\frac{dV}{dt}\right)$$

Оцінка терміна $\cosh(V)\cosh(dV/dt)$ завжди буде генерувати позитивний продукт, тоді як термін $\sinh(V)\sinh(dV/dt)$ дасть результат, залежний від полярності V і dV/dt . Тому "мертва зона" визначається, коли сума цих двох термінів продукту призводить до нуля або до майже нульового значення. Оскільки $\cosh > 1$, "мертва зона" лежить вище цієї величини. В даний час немає такої моделі, яка б мала відношення до фізичних параметрів для цього евристичного, отже, "мертва зона", виділена на малюнку 1, є дещо свавільною за величиною. [13]

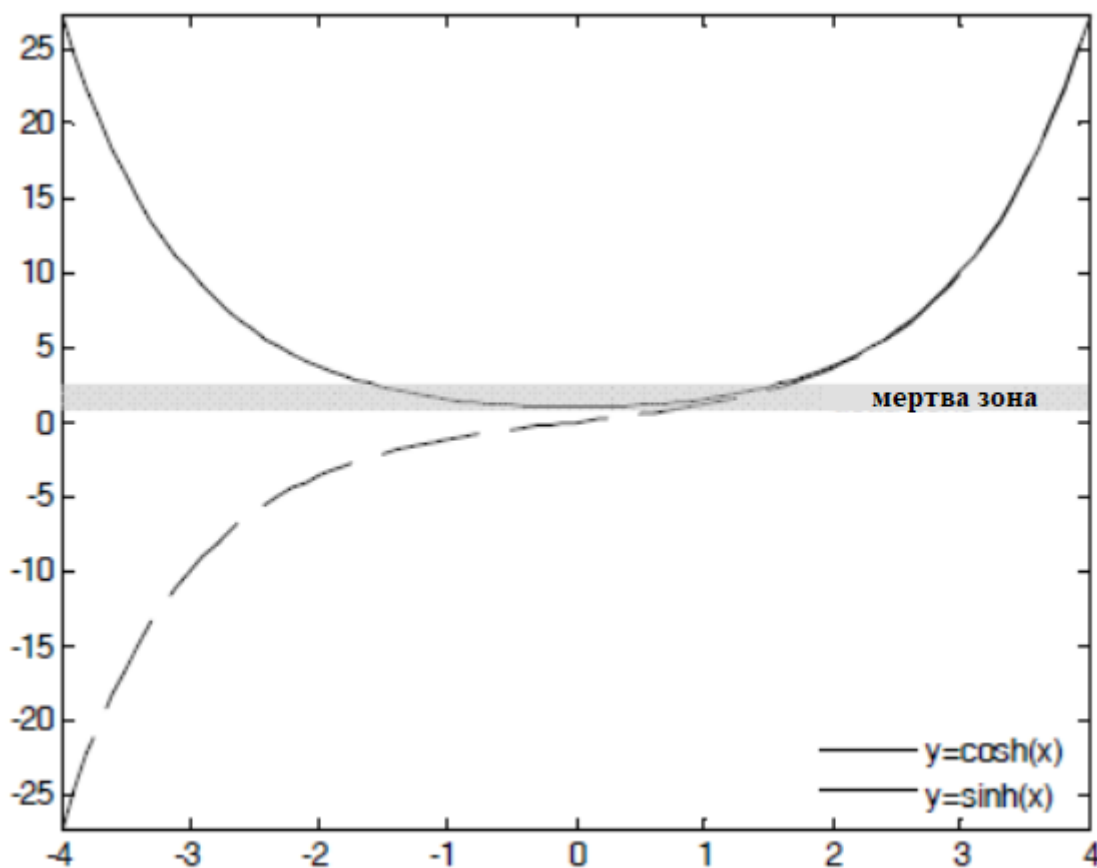


Рисунок 3.1: Графіки гіперболічних функцій \cosh та \sinh , що ілюструють потенціал для моделювання "мертвих зон" часткової скидання діяльності.[13]

Через нелінійності в \cosh та \sinh гіперболічних функцій необхідно було визначити діапазон роботи, який підходить передбачуваного застосування моделювання часткових розрядів. Збільшені величини V і dV/dt полегшать функціонування в асимптотичних областях гіперболічних функцій, що призводить до насичення функції $\cosh(V + dV/dt)$

Це показано на рисунку 2, де амплітуда = 10 та відповідні вертикально-послідовні ділянки мають виключно високі значення осі Y ; характеристика насичення .

Крім того, на рис. 2, де амплітуда = 1, нормалізація складової форми хвилі давала вертикально послідовні ділянки, що характеризуються нижчими величинами, що означають відсутність насиченості, що виявляє практичний діапазон експлуатації.

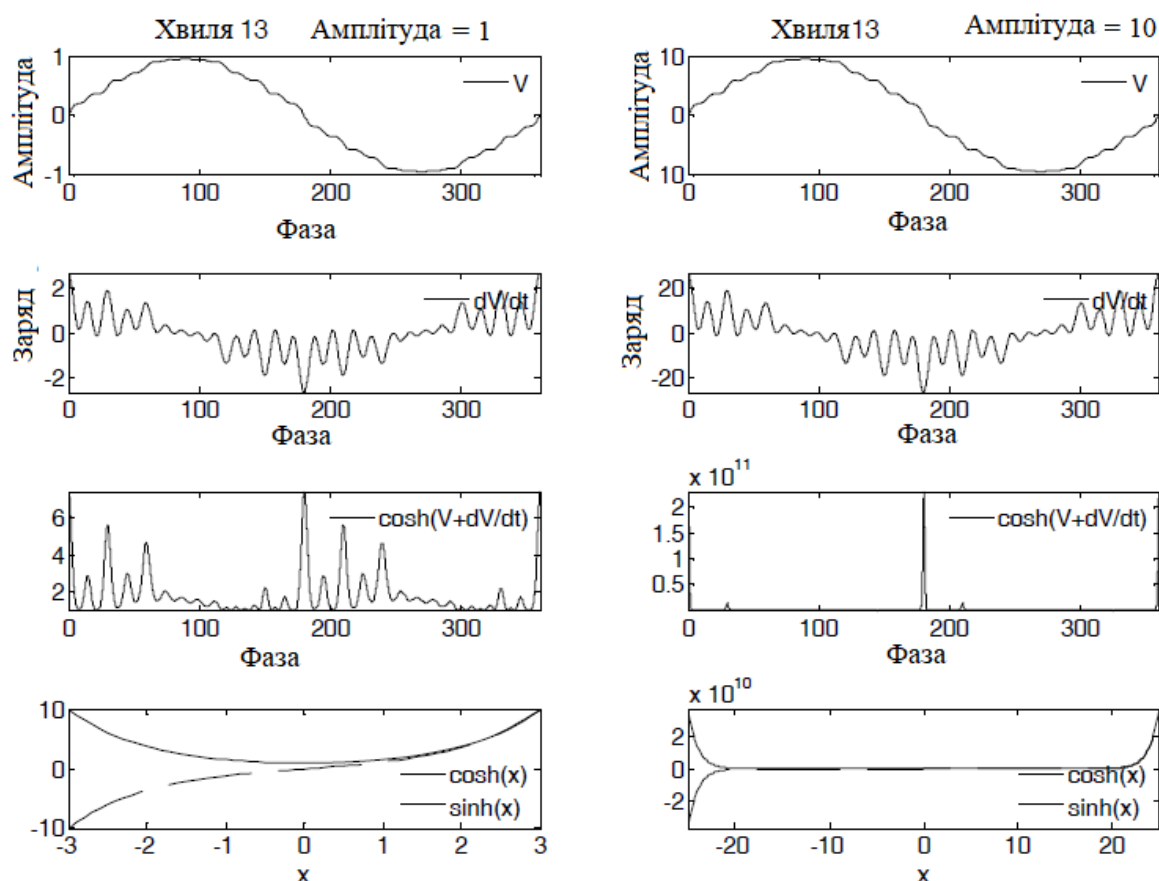


Рисунок 3.2: Нормалізація сигналу запобігає операції в асимптотичі регіон \cosh і \sinh гіперболічні функції з амплітудою = 1 (ліворуч) і амплітуда = 10 (справа). [13]

Зразок, використаний для одержання результатів характеризувався широким розповсюдженням електричного дерева, що торкався землі. Дерево вирощували в надлишку двогодинного періоду на піку 10,8 кВ, а потім з кожним підкреслено композитного сигналу протягом 5 хвилин при тій же напрузі. Незважаючи на невеликий зсув «мертвої зони» кореляції між функцією $\cosh(V + dV/dt)$ і записаної активності часткових розрядів для хвилі 1, була прийнятною, придатний для моделювання «мертвих зон» з усіх форм хвилі за винятком хвилі 11. аномальні результати для хвилі 11, характеризується підвищеною величиною 7-й гармоніки тільки (по відношенню до хвилі 9) припустим, що гармонійний склад, який регулює форму хвилі може привести до газорозрядних моделей з функціями, які не можуть бути передбачені за допомогою цієї функції \cos . Крім того, старіння стану ізоляції і домінуючий

механізм старіння, можливо, поступово впливає на характер розрядної активності.

Придатність моделі повинна включати електричне подовження напруги дерева в більш ранні періоди росту дерев.

Важливо, щоб шаблон часткового розряду був таким що виробляється як такі, що близькі до однакових фізичних можливостей, наскільки це можливо всю тривалість часткового вилучення. Це є причиною використання визначеної стадії росту дерева (велике дерево розповсюдження) Це не просто досягнути, але рекомендований підхід передбачає зменшення прикладеної величини напруги для зменшення зростання без істотної жертви в умовах для збільшення активності ЧР.

Зростання та коливання величин dV/dt є репрезентативними характеристиками часової області, що вводяться факторами електричного напруження з неенергетичними частотами, що потенційно впливають на рух просторового заряду, змінюють умови для процесів електричного старіння для погіршення діелектрика. При перевищенні порігового електричного поля, що є функцією від миттєвої величини напруги, підвищена електрична напруженість поля компліментарної полярності прискорить електрони, щоб бомбардувати молекули в середовищі діелектричного дефекту. Отже, це породжує більшу кількість зіткнень, які, в свою чергу, позбавляють більше електронів, ніж звичайно призводять до одиниці часу, створюючи лавинний ефект для вищезгаданих номінальних часткових розрядів.

Шаблон часткового розряду, що виробляється електричним деревом, дуже залежить від якості енергії. Це характеризує місцеві піки та регіони без активності ("мертві зони"). Моделювання часткових розрядів за рахунок електричного дерева з використанням функції $\cosh(V + dV/dt)$ є потенційно плідним для ідентифікації як піків, так і «мертвих зон». Подальші дослідження та аналіз необхідні для визначення того, чому 7-а гармоніка зі збільшеною

величиною в ізоляції (хвиля 11) дала результати що значно відрізняються від інших форм сигналу. У разі успіху цей підхід може дати діагностичну інтерпретацію зареєстрованої часткової викидної активності, щоб забезпечити детерміністичну міру викривлення частоти потужності (моніторинг обставин) та виявлення будь-яких змін стану ізоляції (моніторинг стану).

4. ВПЛИВ ГАРМОНІК НАПРУГИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЧАСТКОВИХ РОЗРЯДІВ В ІЗОЛЯЦІЇ

Модель для досліджень часткових розрядів при впливі гармонік з урахування газових включень показана на рис.1 Моделювання робилося в демо-версії Micro-Cap Evaluation/Student Version.

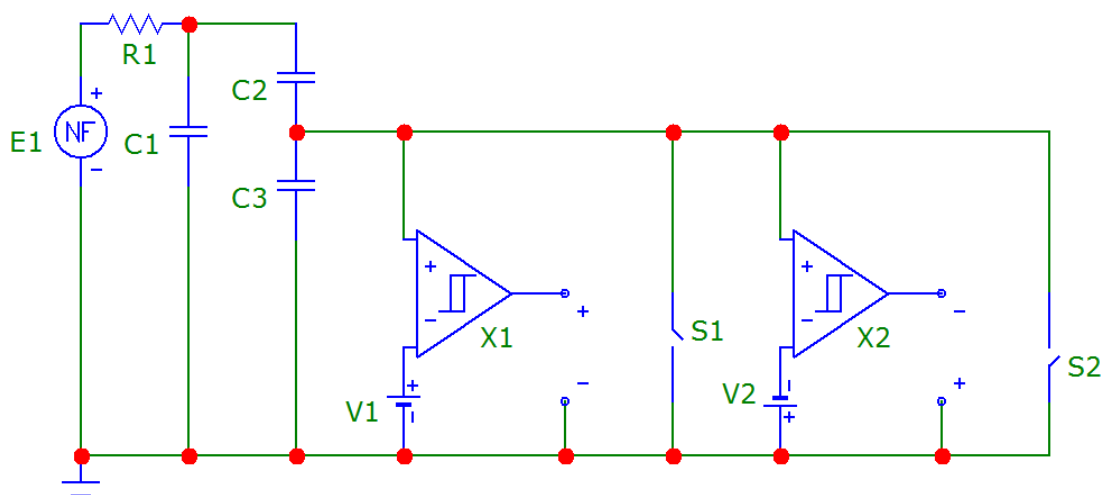


Рисунок 4.1. Використовуєма модель для досліджень ЧР [10],[11]

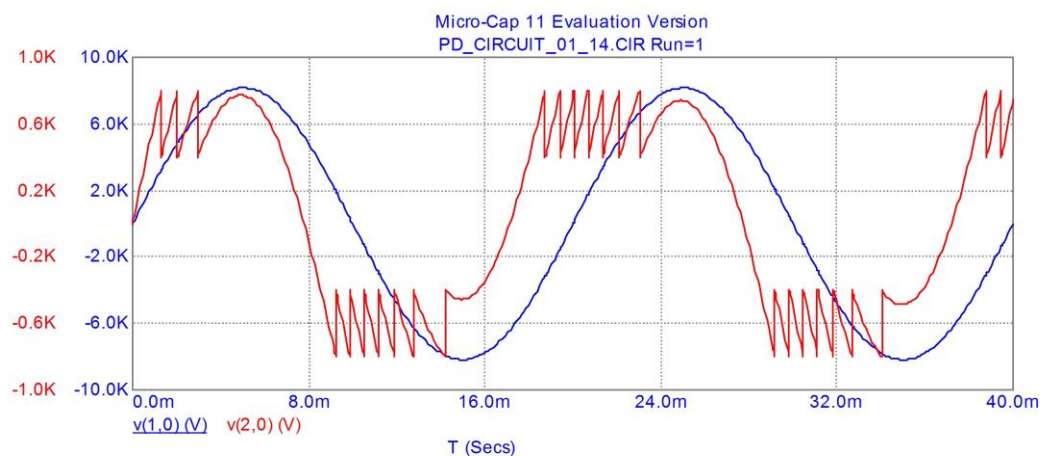
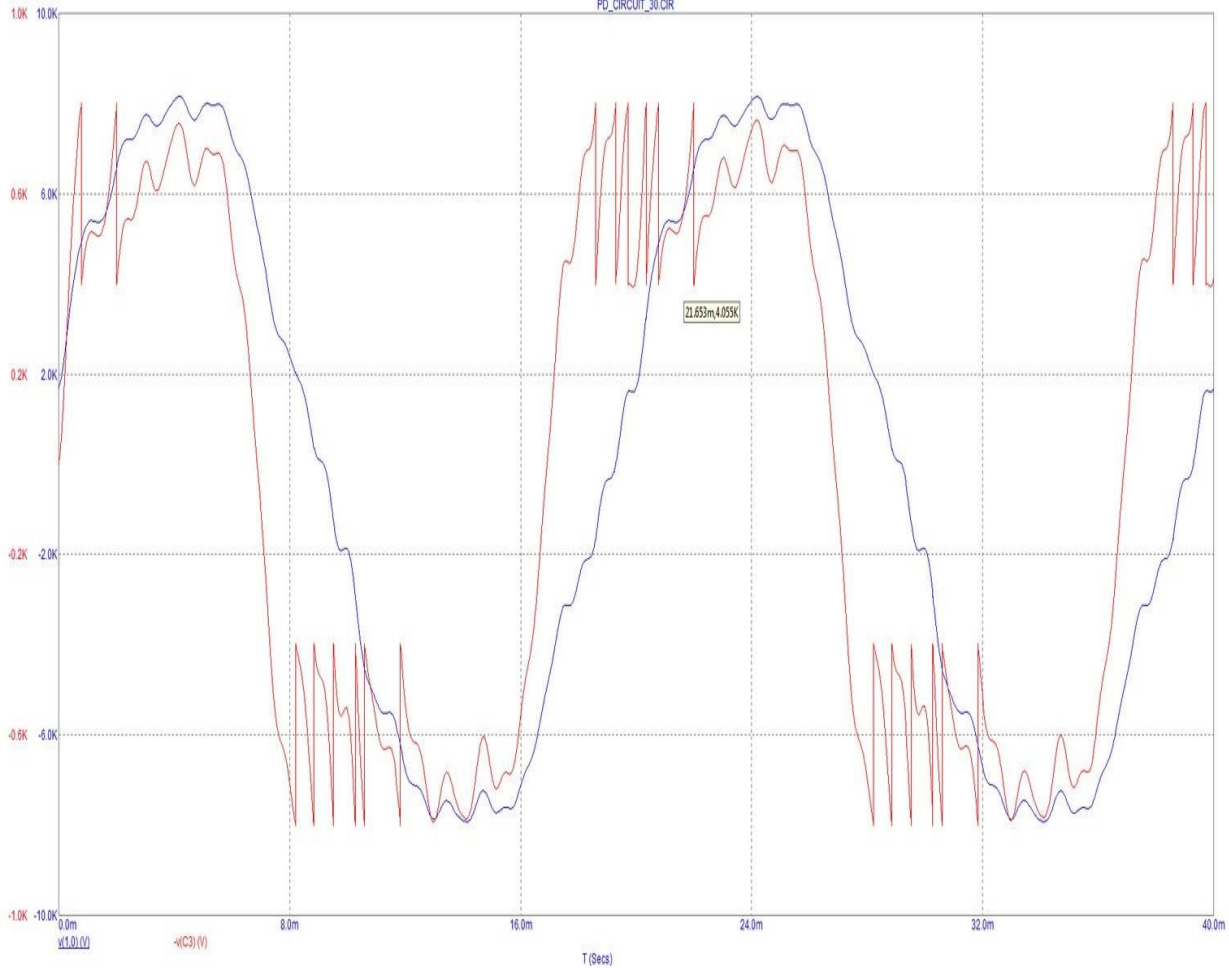
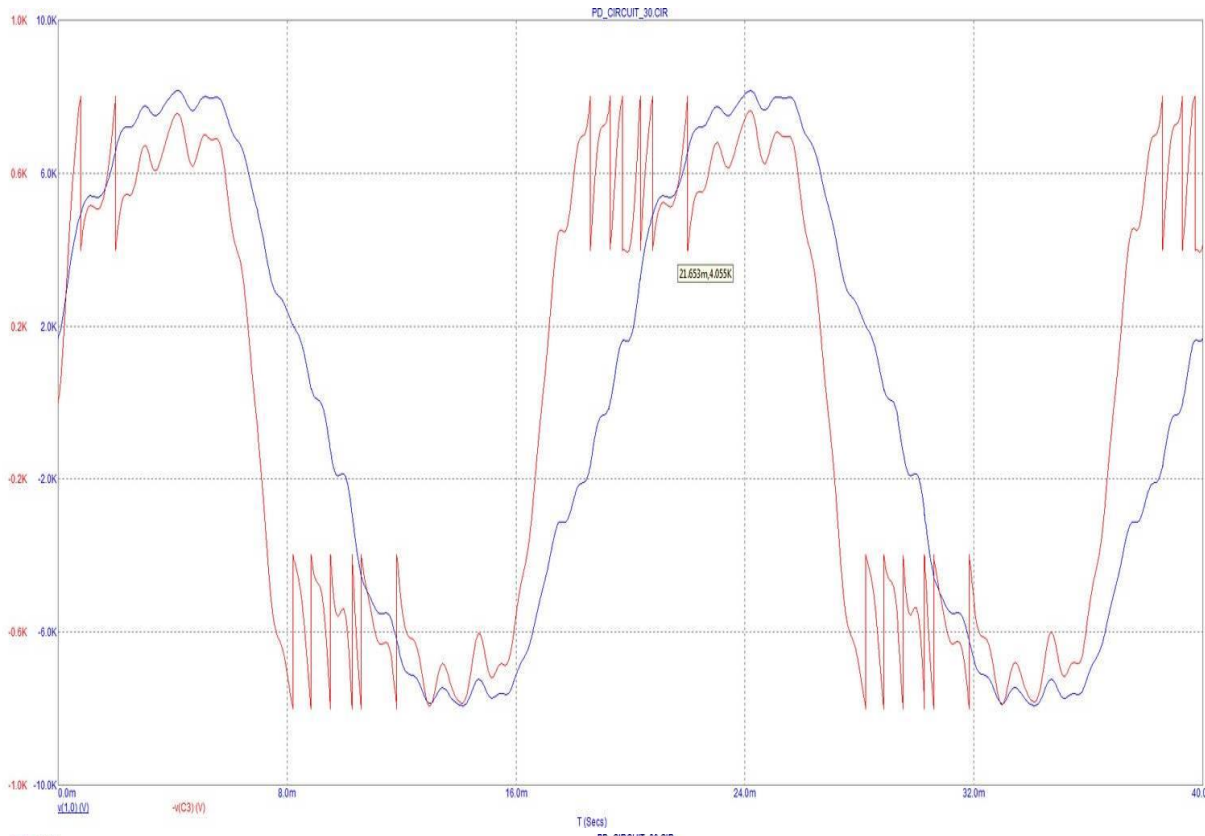


Рисунок. 4.2. Приклад еталона при виникненні 14 часткових розрядів за період при ідеальній синусоїдальній напрузі частоти 50 Гц [10],[11]

Беремо значення 14 часткових розрядів за еталон та емулюємо вплив при заданих значеннях амплітуд і поєднанні фазових кутів гармонік напруги відповідно. Результати видно на вплив Рисунок 4.3-4.6. Підрахунок починається з другого півперіоду.



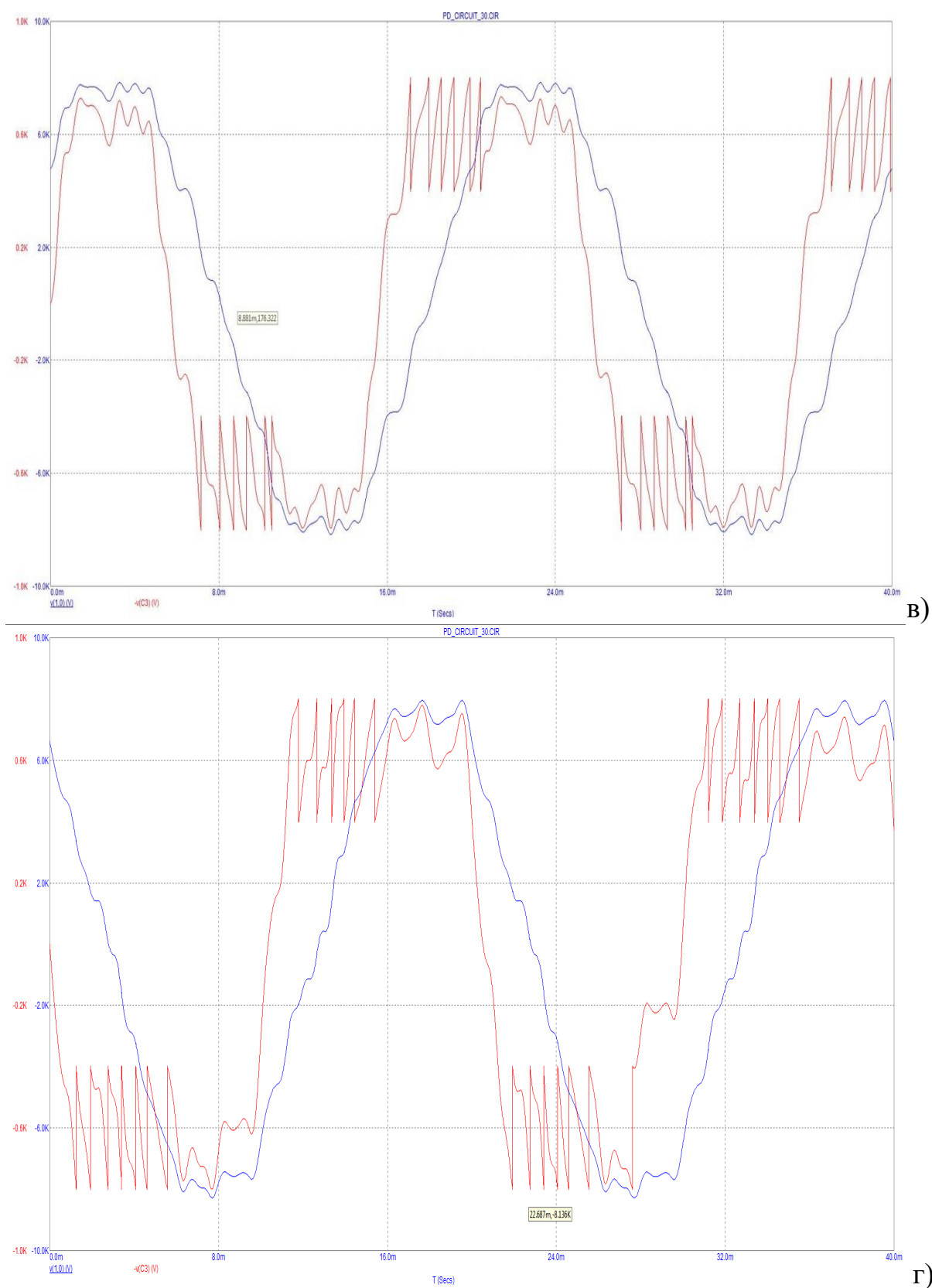
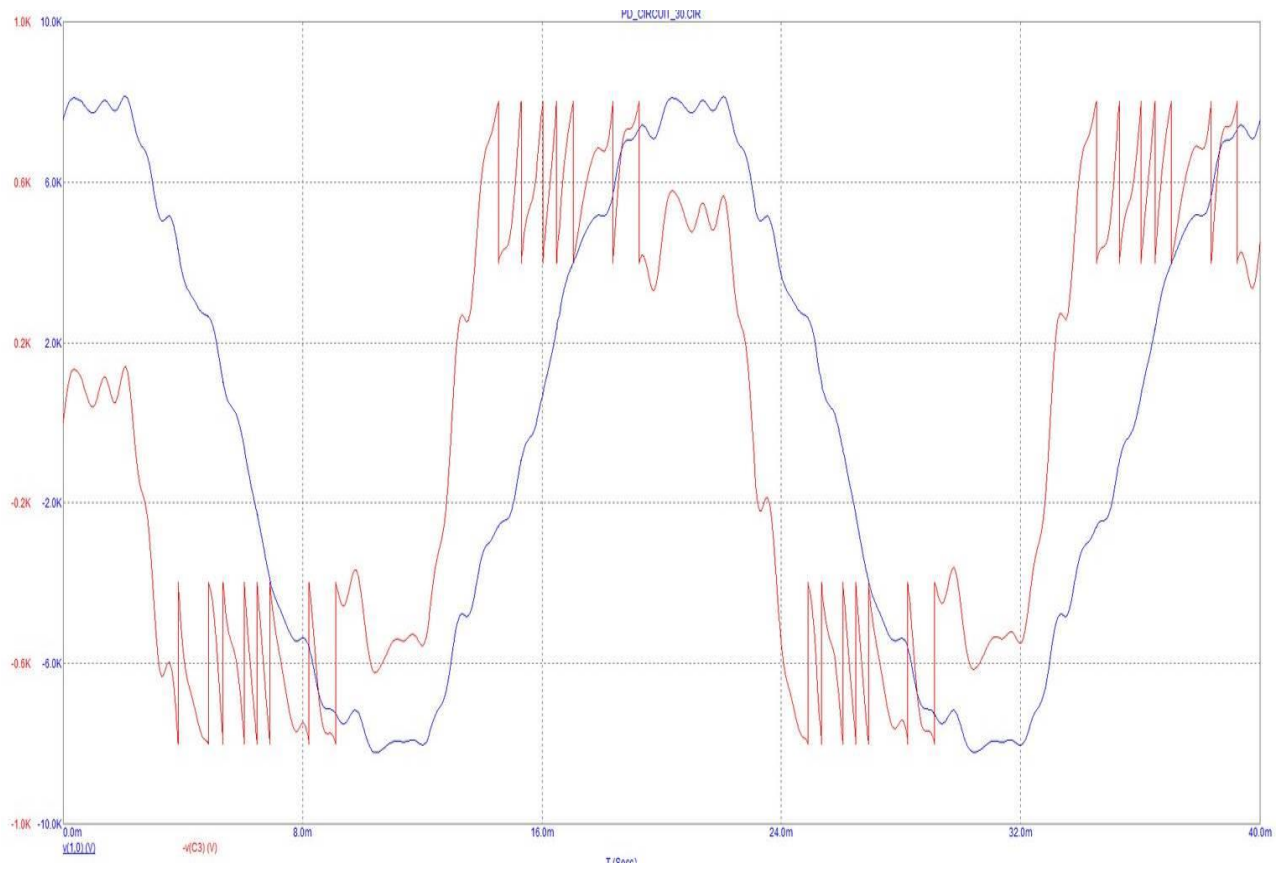
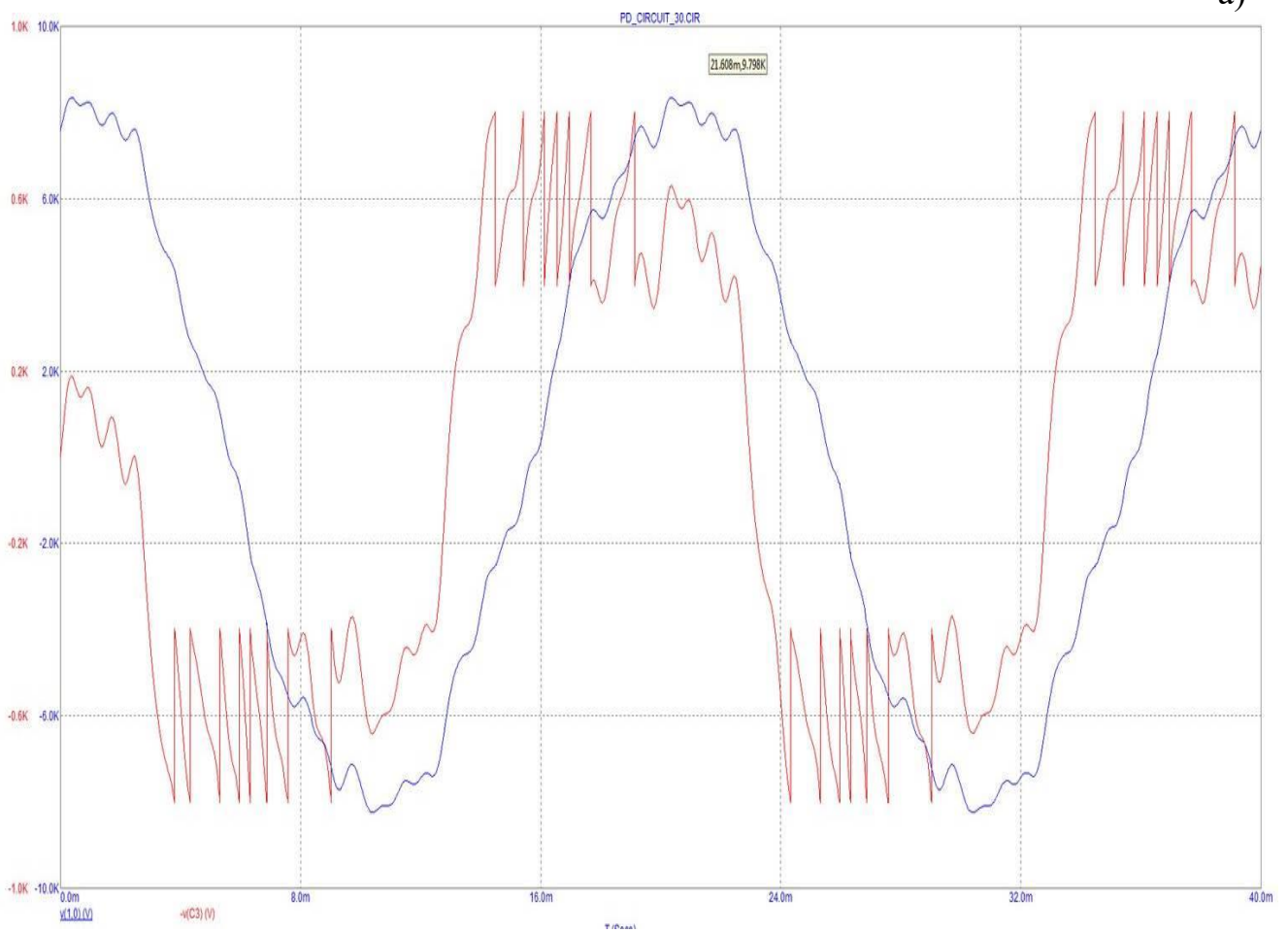


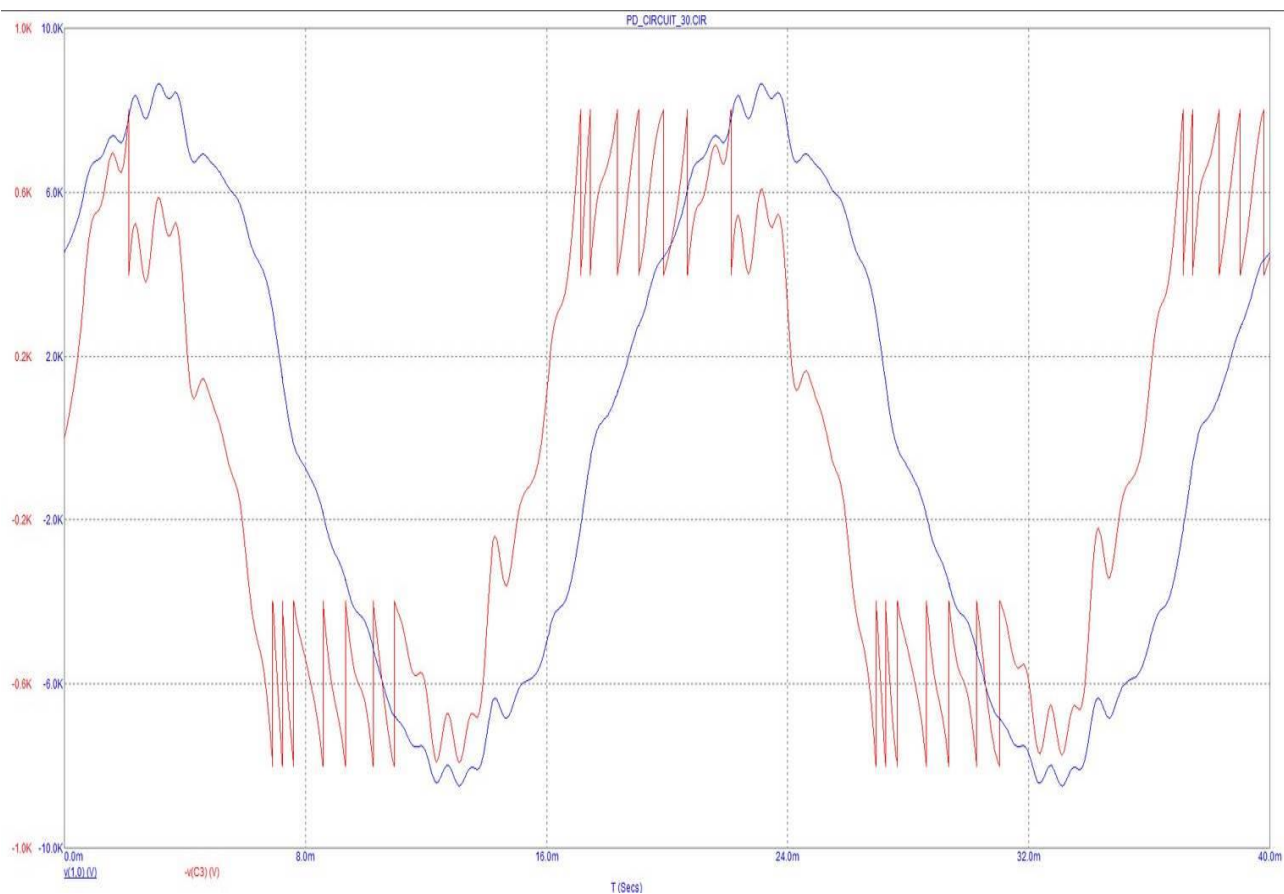
Рис. 4.3. Виникнення 4 випадків (в порядку зображення а,б,в,г) 12 часткових розрядів за період при заданих значеннях амплітуд і поєднанні фазових кутів гармонік напруги відповідно



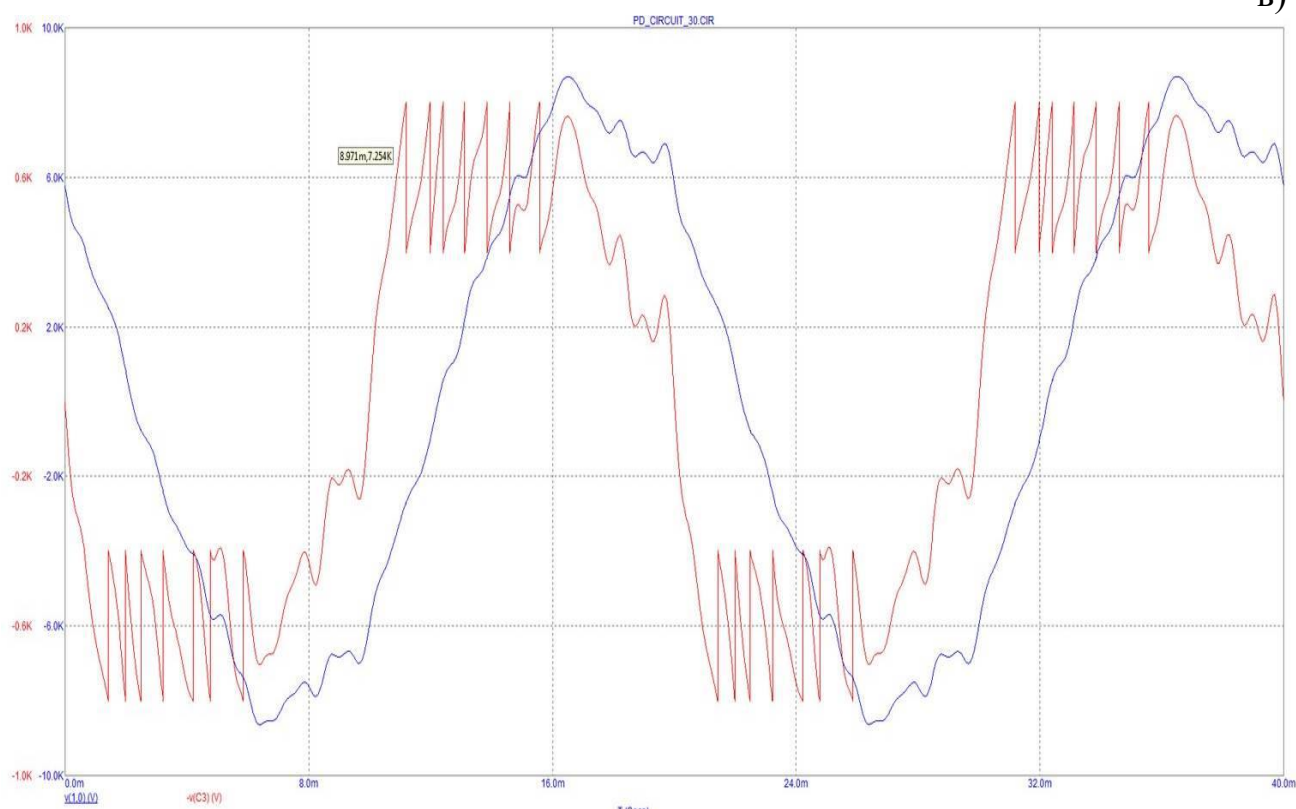
a)



b)

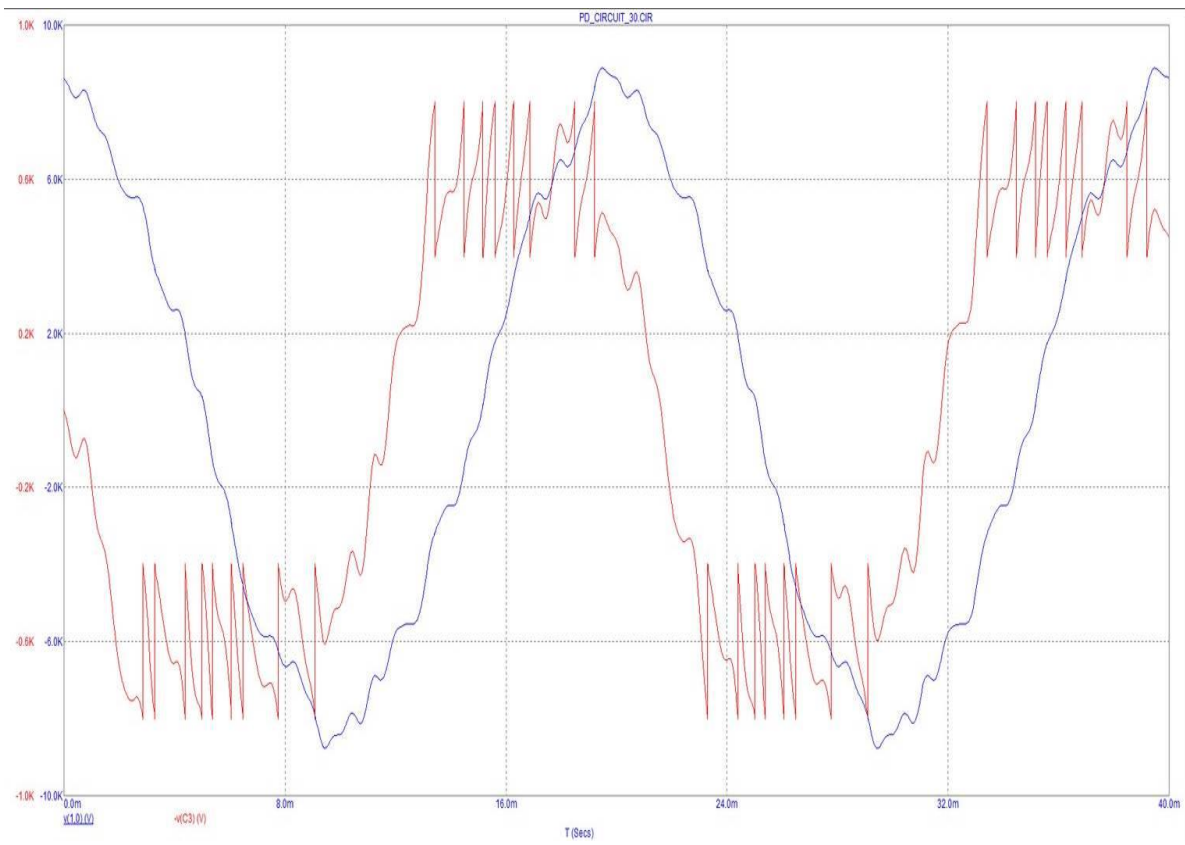


В)

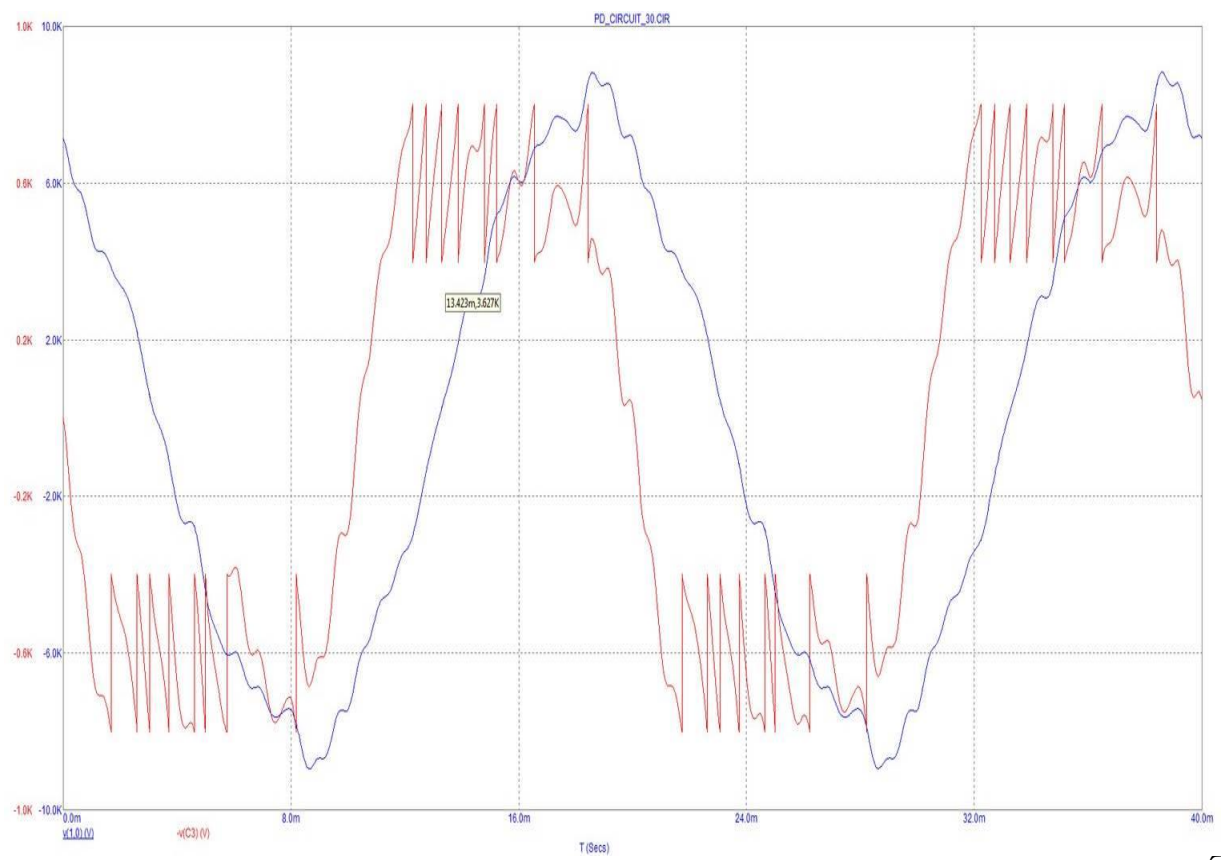


Г)

Рис. 4.4. Виникнення 4 випадків (в порядку зображення а,б,в,г 14 часткових розрядів за період при заданих значеннях амплітуд і поєднанні фазових кутів гармонік напруги відповідно



a)



б)

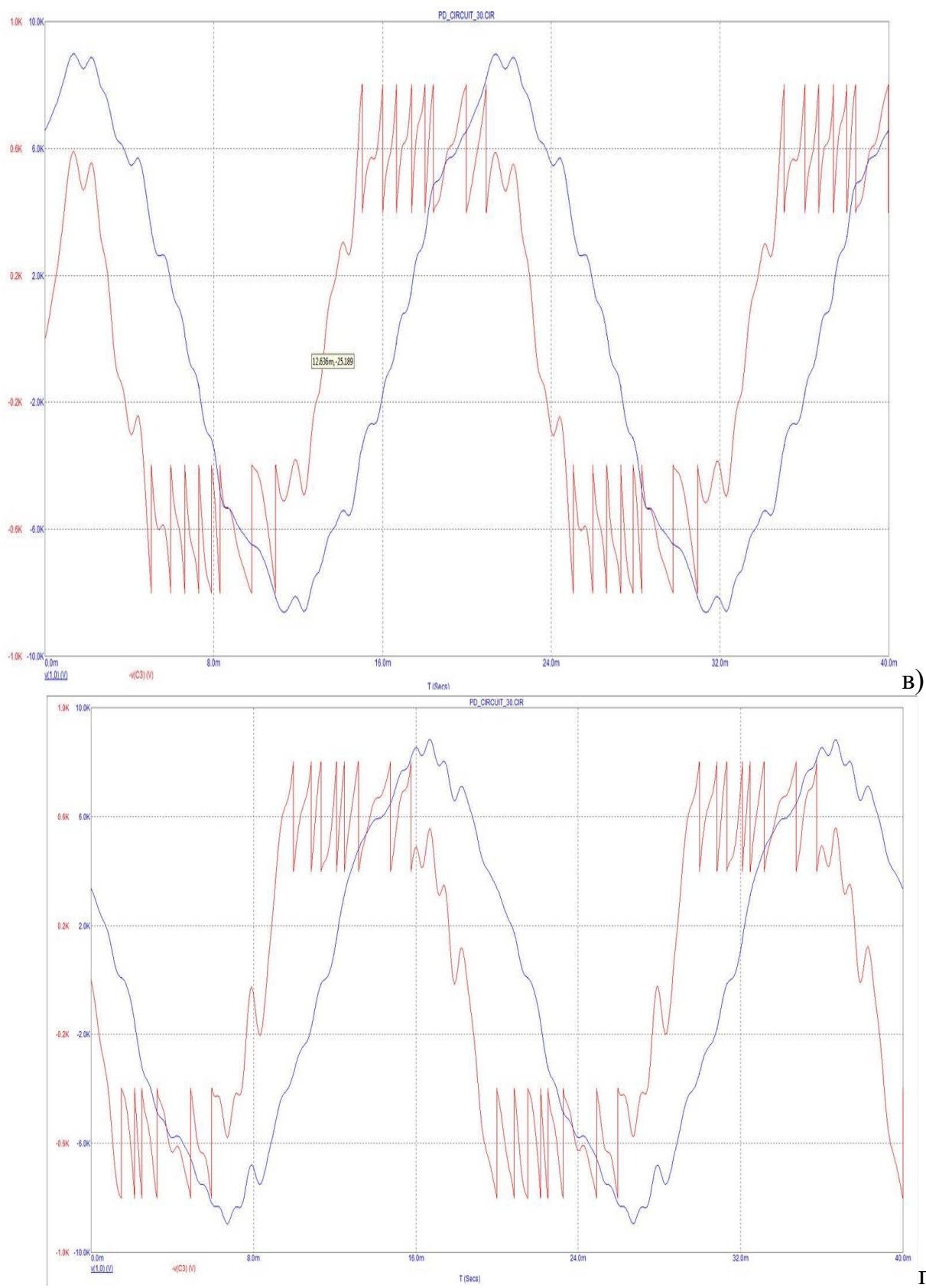
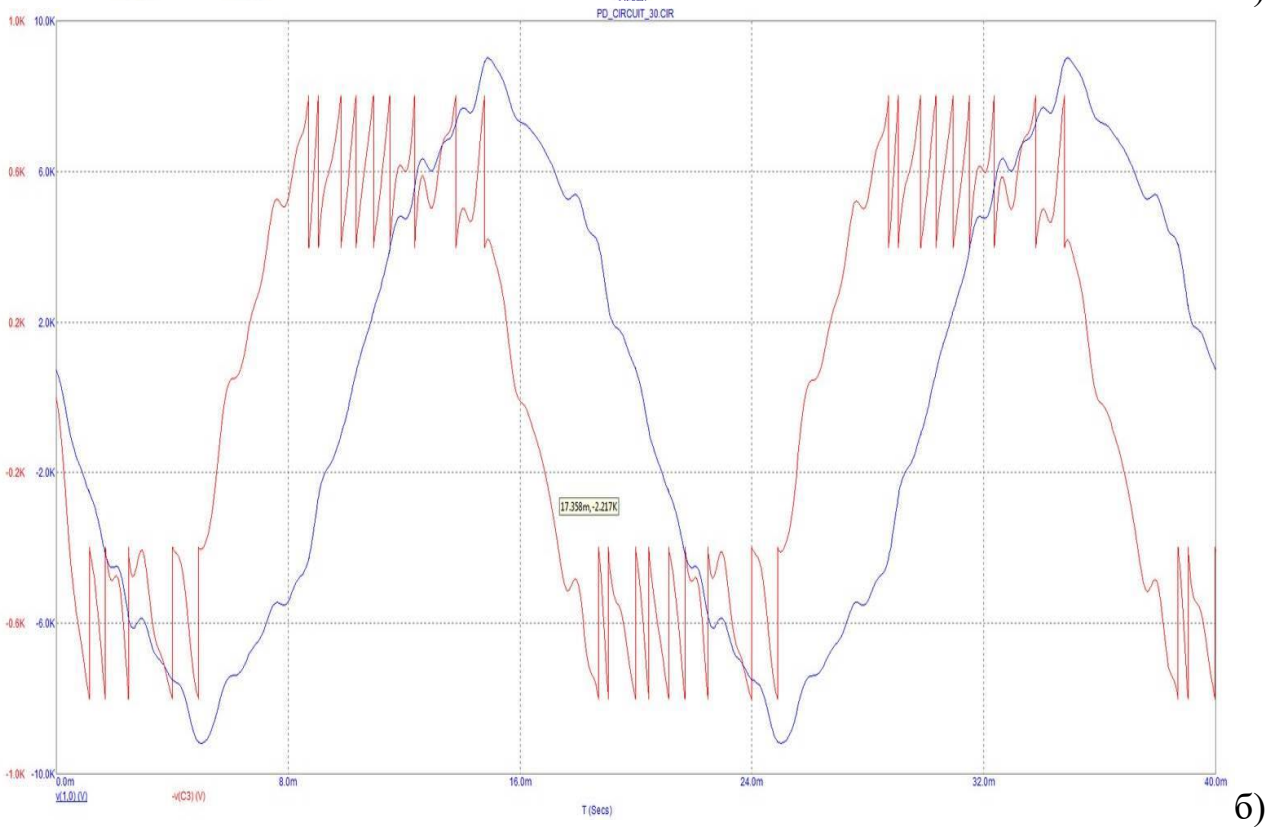
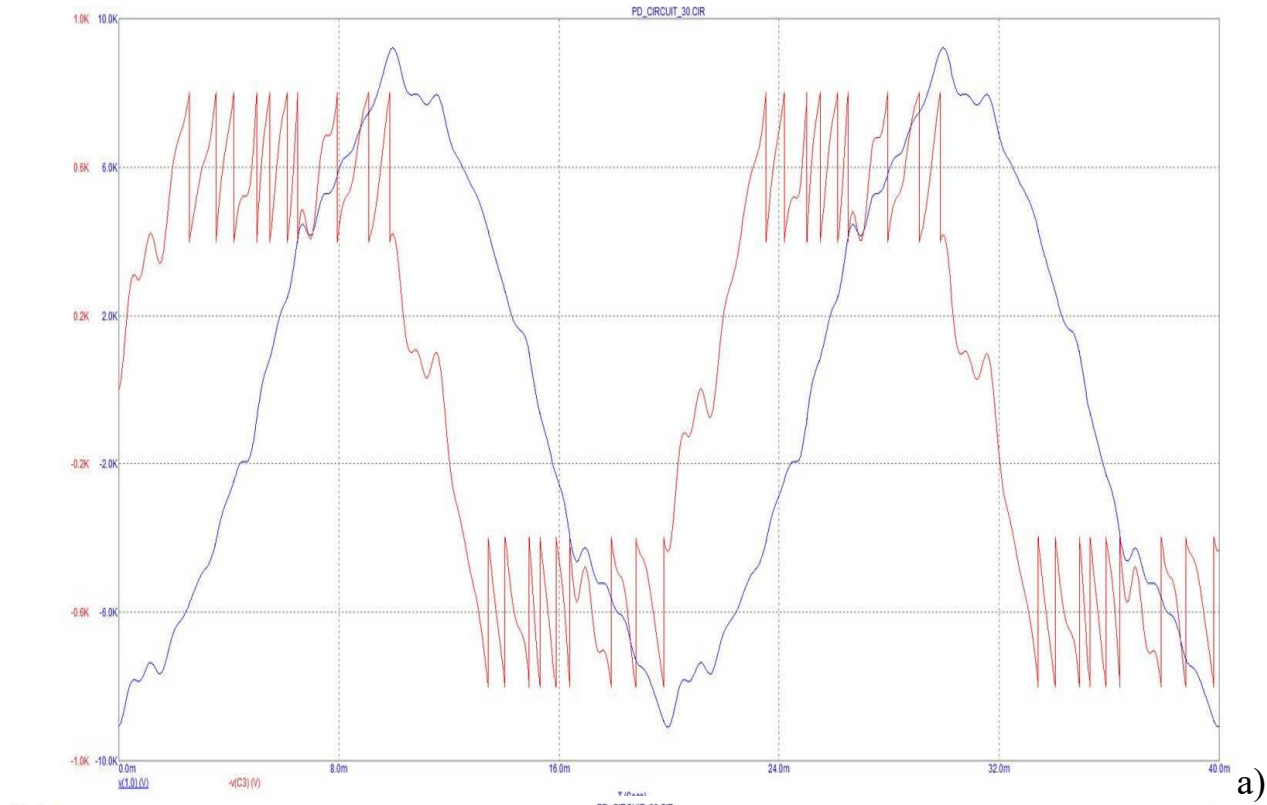


Рис. 4.5. Виникнення 4 випадків (в порядку зображення а,б,в,г 16 часткових розрядів за період при заданих значеннях амплітуд і поєднанні фазових кутів гармонік напруги відповідно



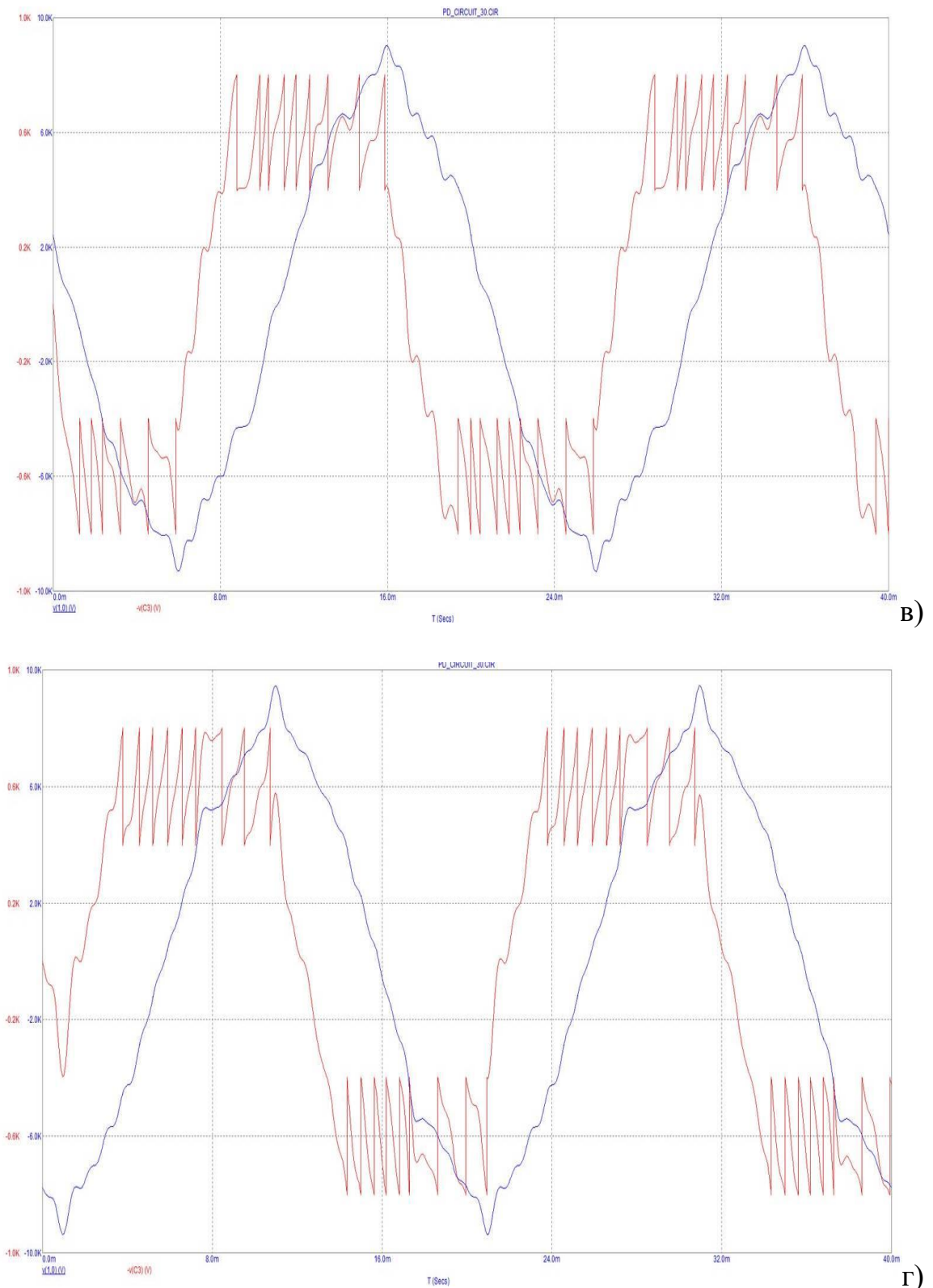


Рис. 4.6. Виникнення 4 випадків (в порядку зображення а,б,в,г 17 часткових розрядів за період при заданих значеннях амплітуд і поєднанні фазових кутів гармонік напруги відповідн

Фазові кути та коефіцієнти $U_n(\%)$ кожної гармонічної складової напруги

відповідно да графікі показані в табл. 1-4.

Таблиця 4.1

Результаты моделювання 4 випадків 12 часткових розрядів

Номер n-ї гармонічної складової напруги	Коефіцієнт n-ї гармонічної складової напруги, %	Фазний кут φ_n n-ї гармонічної складової напруги, рад			
		12 ч.р. за період (рис. 3а)	12 ч.р. за період (рис. 3б)	12 ч.р. за період (рис. 3в)	12 ч.р. за період (рис. 3г)
1	100.00	0.392	295	641	2.293
2	1.50	0.943	4.753	2.678	0.269
3	1.50	1.636	1.385	0.939	0.386
4	0.70	4.485	0.755	1.194	1.479
5	4.00	4.966	5.294	0.263	2.259
6	0.30	2.412	0.130	1.582	3.417
7	3.00	1.454	0.736	4.842	2.137
8	0.30	0.081	2.714	5.870	2.176
9	0.50	3.585	4.296	1.804	1.975
10	0.30	0.421	5.145	1.174	2.740
11	2.00	5.903	5.070	4.039	3.365
12	0.20	0.787	6.063	1.364	4.498
13	2.00	6.252	4.511	5.940	3.902
14	0.20	0.610	3.133	0.482	2.642
15	0.30	1.105	2.366	1.411	2.630
16	0.20	4.572	3.544	1.129	5.730
17	1.50	2.386	3.726	3.421	2.754
18	0.20	6.203	0.435	6.176	5.873
19	1.00	3.245	2.751	5.637	2.718
20	0.20	1.545	6.132	3.039	5.241
21	0.20	3.070	5.157	1.165	5.489
22	0.20	5.156	1.500	5.339	4.622
23	1.00	0.532	4.018	3.688	3.592
24	0.20	4.325	2.763	3.572	1.312
25	1.00	4.134	3.976	2.457	0.0792
26	0.20	0.020	6.086	0.508	3.725
27	0.94	5.779	3.929	4.169	5.798
28	0.20	4.207	5.864	0.532	.525
29	0.88	2.211	5.420	2.734	3.926
30	0.20	4.531	5.996	4.272	0.008

Таблиця 4.2

Результаты моделювання 4 випадків 14 часткових розрядів

Номер n-ї гармонічної складової напруги	Коефіцієнт n-ї гармонічної складової напруги, %	Фазний кут φ_n n-ї гармонічної складової напруги, рад			
		14 ч.р. за період (рис. 3а)	14 ч.р. за період (рис. 3б)	14 ч.р. за період (рис. 3в)	14 ч.р. за період (рис. 3г)
1	100.00	0.646	1.398	1.369	2.415
2	1.50	4.795	0.398	5.367	5.285
3	1.50	2.882	4.535	4.571	6.283
4	0.70	1.822	3.665	1.924	1.341
5	4.00	4.405	5.328	5.282	1.078
6	0.30	1.725	5.838	2.044	6.237
7	3.00	0.447	1.822	2.558	2.941
8	0.30	5.140	1.289	4.103	4.098
9	0.50	3.770	3.373	4.052	3.095
10	0.30	2.436	3.773	2.347	3.896
11	2.00	3.275	5.421	5.642	1.947
12	0.20	2.747	2.078	1.396	2.967
13	2.00	5.162	5.137	6.094	2.784
14	0.20	3.313	1.366	5.184	1.229
15	0.30	3.574	2.126	4.320	2.058
16	0.20	1.670	5.084	0.939	0.688
17	1.50	1.976	0.078	0.723	4.320
18	0.20	2.738	4.432	1.034	1.925
19	1.00	4.490	4.823	4.224	3.257
20	0.20	0.725	3.193	1.224	5.015
21	0.20	1.281	6.021	5.977	2.196
22	0.20	3.488	4.615	5.204	3.822
23	1.00	4.286	0.627	5.667	2.115
24	0.20	1.048	1.258	3.992	2.559
25	1.00	2.467	6.109	5.453	3.908
26	0.20	2.175	5.945	3.037	3.886
27	0.94	0.529	0.800	2.292	2.782
28	0.20	0.616	5.389	0.216	5.159
29	0.88	5.007	3.733	0.572	4.748
30	0.20	4.423	5.373	1.266	2.363

Таблиця 4.3

Результаты моделювання 4 випадків 16 часткових розрядів

Номер n-ої гармонічної складової напруги	Коефіцієнт n-ої гармонічної складової напруги, %	Фазний кут φ_n n-ої гармонічної складової напруги, рад			
		16 ч.р. за період (рис. 3а)	16 ч.р. за період (рис. 3б)	16 ч.р. за період (рис. 3в)	16 ч.р. за період (рис. 3г)
1	100.00	2.695	1.597	2.114	1.062
2	1.50	5.633	0.660	4.906	6.199
3	1.50	4.075	2.979	1.397	0.056
4	0.70	1.110	2.088	3.988	0.120
5	4.00	6.262	1.084	3.182	4.683
6	0.30	3.466	6.138	0.660	5.198
7	3.00	4.137	2.384	3.429	4.452
8	0.30	0.465	5.358	2.378	2.895
9	0.50	6.043	3.166	2.024	1.167
10	0.30	2.293	3.101	5.959	0.355
11	2.00	0.295	4.576	5.334	5.229
12	0.20	3.499	5.118	5.362	1.676
13	2.00	1.026	3.009	0.557	2.535
14	0.20	0.148	2.093	0.230	6.280
15	0.30	4.036	5.516	3.337	4.460
16	0.20	6.118	2.965	3.972	0.202
17	1.50	3.503	5.370	1.750	2.256
18	0.20	0.952	1.036	5.550	0.215
19	1.00	3.731	3.145	4.784	5.819
20	0.20	1.945	1.679	3.637	2.171
21	0.20	2.431	2.673	4.300	4.785
22	0.20	5.831	4.653	2.852	0.720
23	1.00	0.909	2.739	0.690	5.517
24	0.20	6.258	5.651	0.510	4.653
25	1.00	2.357	5.926	2.188	2.095
26	0.20	3.946	4.775	3.173	3.765
27	0.94	3.967	1.361	0.987	2.590
28	0.20	0.223	2.327	2.182	2.579
29	0.88	6.141	0.632	1.871	5.004
30	0.20	6.252	3.426	3.157	5.771

Таблиця 4.4

Результаты моделювання 4 випадків 18 часткових розрядів

Номер n-ої гармонічної складової напруги	Коефіцієнт n-ої гармонічної складової напруги, %	Фазний кут φ_n n-ої гармонічної складової напруги, рад			
		18 ч.р. за період (рис. 3а)	18 ч.р. за період (рис. 3б)	18 ч.р. за період (рис. 3в)	18 ч.р. за період (рис. 3г)
1	100.00	3.106	2.894	4.662	4.469
2	1.50	0.468	1.171	980	5.203
3	1.50	1.765	0.577	3.325	2.520
4	0.70	5.736	0.028	4.954	793
5	4.00	3.076	1.531	4.415	2.983
6	0.30	1.024	3.151	5.659	4.944
7	3.00	6.084	0.681	5.869	3.083
8	0.30	2.963	0.723	662	5.159
9	0.50	3.242	1.543	5.125	5.760
10	0.30	1.782	4.268	2.487	3.984
11	2.00	0.540	2.914	5.465	1.091
12	0.20	2.757	0.966	1.653	5.449
13	2.00	2.345	3.472	4.782	1.199
14	0.20	1.717	4.093	2.263	3.029
15	0.30	5.774	5.416	2.547	5.616
16	0.20	0.465	0.211	5.531	551
17	1.50	2.772	3.999	4.457	5.427
18	0.20	0.100	2.438	4.426	150
19	1.00	1.533	1.339	262	5.610
20	0.20	1.649	4.525	1.598	1.858
21	0.20	5.780	0.539	5.428	2.411
22	0.20	5.335	2.062	185	4.733
23	1.00	4.615	0.529	5.290	4.244
24	0.20	2.670	2.275	627	3.284
25	1.00	4.523	2.537	5.483	3.266
26	0.20	0.122	3.859	3.255	1.705
27	0.94	1.373	3.742	2.396	1.326
28	0.20	5.473	2.872	5.151	241
29	0.88	0.199	0.150	4.012	2.688
30	0.20	0.593	4.181	3.925	4.492

5. СТАРТАП: КОМЕРЦІАЛІЗАЦІЯ ТЕМИ МАГІСТЕРЬСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІЇ «ВПЛИВ ГАРМОНІК НАПРУГИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЧАСТКОВИХ РОЗРЯДІВ В ІЗОЛЯЦІЇ» МАРКЕТИНГОВИЙ АНАЛІЗ

5.1 Опис суті проекту

На даний момент цей аспект не враховується при перевірці впливу часткових розрядів для оцінки і діагностики стану обладнання, його довговічності, та прогнозування доцільності використання того чи іншого пристрою. Так як це не враховується то виникають помилки в прогнозуванні довговічності приладів і можливих збоїв. Тому якщо учитувати цей метод діагностики, це може привести до економічної вигоди у багатьох галузях.

Табл. 5.1

Опис ідеї стартап-проекту діагностики впливу гармонік напруги на характеристики часткових розрядів в ізоляції

<i>Зміст ідеї</i>	<i>Напрямки застосування</i>	<i>Вигоди користувача</i>
Методика використання впливу гармонік напруги на характеристики часткових розрядів в ізоляції при діагностиці електричного обладнання для прогнозування його ефективності в роботі й при діагностиці в середині експлуатації та при аварійних збоях	<p>1. При виробництві обладнання для аналізу його конкурентоспроможності й долі ринку</p> <p>2. При наукових дослідженнях для отримання більш точних результатів досліджень</p> <p>3. При прогнозуванні ефективності багатьох кількості обладнання на довгий період як в великих фірмах, так і для для одиночного використання</p>	<p>Ефективний аналіз доречності витрати коштів обладнання ще в початку планування його покупки та більш точний контроль й прогнозування його роботоспроможності при подальшій експлуатації</p>

Надалі представлені варіанти використання ідеї, що пропонується, можливі напрямки застосування, основні вигоди, що може отримати користувач товару за кожним напрямком застосування, відмінності від існуючих аналогів та замінників, конкурентоспроможність та що потрібно для введення цієї ідеї..

Після аналізу всіх цих аспектів можна з великою точністю сказати про доцільність і ефективність вводу цієї ідеї як об'єкта для стартапу.

Проведений порівняльний аналіз показників для власної ідеї за показниками: а) кращі значення (S, сильні) б) аналогічні (N, нейтральні) значення; с) гірші значення (W, слабкі); заносимо до табл. 5. 2.

Табл. 5.2 - Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї впливу гармонік напруги на характеристики часткових розрядів в ізоляції

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів		W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	Конкурент	Потреба в		
1.	Методика впливу гармонік напруги на характеристики часткових розрядів в ізоляції	Точне визначення впливу часткових розрядів на ізоляцію за допомогою методу впливу гармонік напруги на характеристики часткових розрядів	Відсутні попередні розробки. Існуючі розробки в інших країнах недоступні (приховані для одержання переваг першості нових технологій).	багатьох дослідженнях, розробці нормативної документації на державному рівні. Відсутні державні стандарти.	Часткове використання існуючих методик для розрахунку впливу гармонік напруги на характеристики часткових розрядів в ізоляції	Дуже широкий діапазон можливості застосовування

За приведеним переліком слабких, сильних та нейтральних характеристик та властивостей ідеї потенційного товару можна стверджувати про конкурентоспроможність методики діагностики впливу гармонік напруги на характеристики часткових розрядів в ізоляції

5.2 Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу проведений аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту (технології створення товару).

Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз таких складових (табл. 5.3):

- за якою технологією буде виготовлено товар згідно ідеї проекту?
- чи існують такі технології, чи їх потрібно розробити/добробити?
- чи доступні такі технології авторам проекту?

Табл. 5.3 - Технологічна здійсненність ідеї діагностики впливу гармонік напруги на характеристики часткових розрядів в ізоляції

<i>№ n/n</i>	<i>Ідея проекту</i>	<i>Технології її реалізації</i>	<i>Наявність технологій</i>	<i>Доступність технологій</i>
		Технологія 1	Чи вони наявні, або ж необхідно їх розробити/добробити?	Чи вони доступні авторам проекту?
1	Методика діагностики впливу гармонік напруги на характеристики часткових розрядів в ізоляції	Методика більш точного розрахунку ефективності електрообладнання при довгому періоді експлуатації	Окремі дослідження наявні, але відсутня узагальнена методика дослідження й лабараторні експеременти для її узагальнення, нормативна документація для їх застосування.	Доступна можливість дослідження за допомогою програмного забезпечення

За результатами аналізу таблиці можна зробити висновок щодо можливості технологічної реалізації проекту: реалізація можлива методики діагностики впливу гармонік напруги на характеристики часткових розрядів в ізоляції

5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Визначення ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту, дозволяє спланувати напрямки розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів.

До табл. 5.4 занесені результати проведеного аналізу попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку.

Табл. 5.4 - Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту методики діагностики впливу гармонік напруги на характеристики часткових розрядів в ізоляції

№	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних конкурентів, од	0 відомих
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	10000 ум.од
3	Динаміка ринку	Зростає
4	Наявність обмежень для входу	Відсутність лабораторних досліджень стандартизації та нормативної документації
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Потребують розробки
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	Невідома (потрібні дослідження)

Надалі визначені потенційні групи клієнтів та сформований орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 5.5).

Табл. 5.5 - Методики діагностики впливу гармонік напруги на характеристики часткових розрядів в ізоляції

<i>№</i>	<i>Потреба, що формує ринок</i>	<i>Цільова аудиторія (цільові сегменти)</i>	<i>Відмінності у поведінці потенційних груп клієнтів</i>	<i>Вимоги споживачів до товару</i>
1	Потреба в точному вимірі ефективності обладнання за довгий період	Наукові лабораторії, виробники ел.обладнання, як поодинокі люди так і великі фірми покупці	Відсутня єдина стандартизація та нормативна документація	Висока точність і надійність прогнозування дефектів в ізоляції від часткових розрядів

За визначеними факторами конкурентоспроможності проведений аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту (табл. 5.8).

Табл. 5.6 - Фактори загроз

<i>№ n/n</i>	<i>Фактор</i>	<i>Зміст загрози</i>	<i>Можлива реакція компанії</i>
1	Безкористність використання в деяких галузях	Для деякого обладнання більша точність виміра не має потреби так як вплив ЧР не є загрозою для обладнання, або вплив гармонік на ЧР не має сильний ефект	Аналіз потенційно можливого обладнання для зменшення часу його дослідження
2	Потреба повторних досліджень в різних країнах	Збільшення часу просування на ринку	Попереднє обговорення можливих вимог в різних країнах для кращого їх вирішення

<i>№ n/n</i>	<i>Фактор</i>	<i>Зміст можливості</i>	<i>Можлива реакція компанії</i>
1	Допомога великих наукових лабораторій	Пошвидшення дослідження методики та якщо лабораторія з іншої країни одночасне її введення в різних країнах	Розробка компанією методики разом з університетами

Табл. 5.8 - Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін методики діагностики впливу гармонік напруги на характеристики часткових розрядів в ізоляції

<i>№</i>	<i>Фактор конкурентоспроможності</i>	<i>Бали 1-20</i>	<i>Методика діагностики впливу гармонік напруги на характеристики часткових розрядів в ізоляції</i>						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1.	Врахування основних електричних характеристик ізоляції	15	X						
2.	Врахування дійсного значення впливу часткових розрядів на ізоляцію	10		X					
3.	Використання розрахунку впливу ЧР на матеріал ізоляції для точного розрахунку довговічності обладнання	15	X						
4.	Використання обладнання для досліджень що доступне великим лабораторіям	0					X		
5.	Розроблення нормативної документації	17						X	
6.	Загальний результат		-6	-2			+1	+2	

Аналізуючи табл. 5.8 можна зробити висновки: стартап-проект має такі основні переважаючі фактори конкурентоспроможності, як Врахування основних електричних характеристик ізоляції, Врахування дійсного значення впливу часткових розрядів на ізоляцію, Використання розрахунку впливу ЧР на матеріал ізоляції для точного розрахунку довговічності обладнання, які дають рейтинг товарів-конкурентів “-8”. Фактори конкурентоспроможності, за якими даний проект програє товарам- конкурентам, це Використання обладнання для досліджень що доступне великим лабораторіям та Розроблення нормативної документації, які дають рейтинг товарів-конкурентів “+3”. Сумарний рейтинг товарів-конкурентів складає “-5”.

На основі порівняльного аналізу сильних і слабких сторін методики діагностики впливу гармонік напруги на характеристики часткових розрядів в ізоляції та факторів загроз і можливостей проведено SWOT-аналіз стартап-проекту, який наведено у табл. 5.9

Табл. 5.9 - SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: в методиці присутні матеріали	Слабкі сторони: відсутність
для врахування основних електричних характеристик ізоляції, визначення дійсного значення впливу часткових розрядів на ізоляцію. Особливістю вибору обладнання є розрахунок надійності ізоляційної.	нормативної документації на державному рівні. Необхідне створення нормативно-правової бази на загальнодержавному рівні.
Можливості: на основі розробленої методики діагностики впливу гармонік напруги на характеристики часткових розрядів в ізоляції на початкових етапах можливе розроблення нормативної бази для ліній постійного струму на основі стандартів МЕК та зростання попиту на послуги оцінювання обладнання.	Загрози: нестабільність економіки та залежність вартості оцінки ізоляції від вартості обладнання для досліджень. Внаслідок цього неможливість використання метода на початковому етапі невеликими фірмами.

Оскільки попит на даний проект на ринку наявний, динаміка ринку зростає, можна зробити висновок щодо комерціалізації методики діагностики впливу гармонік напруги на характеристики часткових розрядів в ізоляції:

1. існують перспективи впровадження даної технології, потенційні групи клієнтів, конкурентоспроможність проекту.
2. Рекомендована комерціалізація методики діагностики впливу гармонік напруги на характеристики часткових розрядів в ізоляції у 2018-2020 роках.

ВИСНОВКИ

При дослідженні часткових розрядів під впливом несинусоїдальної напруги вибрано традиційну три-ємнісну схему заміщення діелектрика з газовим включенням. Проведено дослідження моделі з використанням невикорпавленої синусоїдальної напруги. Встановлено, що при відсутності гармонічних розбіжностей при заданих параметрах моделі та номінальній напрузі кВ в газовому включенні виникає 14 імпульсів часткових розрядів за один період частот 50 Гц.

Провели дослідження моделі з використанням гармонік основної частоти гармонік напруги 2-ї по 30-й включно. Встановлено, що при фіксованій амплітуді фазовий кут гармоніки напруги має переважаючий вплив на кількість імпульсів часткових розрядів. При наявності гармоніки напруги ця кількість може виявитися така ж, як і під впливом ідеального синусоїдального напруження (14 часткових розрядів за період). Також вона може виявитися 12 часткових розрядів за період, 16 або 18). При цьому у всіх випадках коефіцієнт розтроснення синусоїдальності кривої напруги залишається одним і тим же.

Після проведених досліджень можна підвести підсумок про необхідність враховування впливу гармонік на часткові розряди в ізоляції. Це значно збільшує точність діагностики ел.обладнання що в подальшому допомагає краще визначити час його експлуатації.

Література

1. Florkowski M., Florkowska B. Distortion of partial-discharge images caused by high-voltage harmonics // IEE Proceedings – Generation, Transmission and Distribution. 2006. Vol. 153, No. 2. P. 171–180. doi:10.1049/ip-gtd:20050008
2. Impact of high voltage harmonics on interpretation of partial discharge patterns / Florkowski M. et al. // IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. 2013. Vol. 20, No. 6. P. 2009–2016. doi:10.1109/tdei.2013.6678848
- 3 M. Florkowski and B. Florkowska, "Distortion of partial-discharge images caused by high-voltage harmonics," IEE Proceedings - Generation, Transmission and Distribution, vol. 153, pp. 171-180, 2006. [
4. Gemant A., Philippoff W. Die Funkenstrecke mit Vorkondensator // Zeitschrift f r Technische Physik. 1932. Vol. 13, No. 9. P. 425–430.
5. Lemke E. A critical review of partial-discharge models // IEEE Electrical Insulation Magazine. 2012. Vol. 28, No. 6. P. 11–16. doi:10.1109/mei.2012.6340519
6. Partial discharge characteristics of uniform gap in oil-impregnated paper insulation under switching impulse voltage / Deng J. et al. // IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. 2016. Vol. 23, No. 6. P. 3584–3592. doi:10.1109/ tdei.2016.005508
7. A Matlab Simulink model for a partial discharge measuring system / Gunawardana S. D. M. S. et al. // Electrical Engineering Conference. 2015. P. 29–34.
8. Arief Y. Z., Izzati W. A., Adzis Z. Modeling of Partial Discharge Mechanisms in Solid Dielectric Material // International Journal of Engineering and Innovative Technology. 2012. Vol. 1, No. 4. P. 315–320.
9. Patel U. D., Patel J. A., Patel H. R. Simulation and mathematical analysis of partial discharge measurement in transformer // International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering. 2015. Vol. 5, No. 1. P. 585–592.

10. Trotsenko Ye., Brzhezitsky V., Protsenko O., Chumack V., Haran Ya. Simulation of partial discharges under influence of impulse voltage // Technology audit and production reserves. 2018. Vol. 1, No. 1 (39). P. 36–41.

11. Trotsenko Ye., Brzhezitsky V., Protsenko O., Chumack V., Haran Ya. Effect of voltage harmonics on pulse repetition rate of partial discharges // Technology audit and production reserves. 2018. Vol. 2, No. 1 (40). P. 37-44.

12. Influence of High Voltage Harmonics on Partial Discharge patterns / Florkowski M. et al. // Proceedings of the Sth International Conference on Properties and Applications of Dielectric Materials 1997. Vol. 03, No. 27. P. 303-306

13. Modeling of Partial Discharges in the Presence of Harmonics

/ S. Bahadoorsingh and S. M. Rowland et al. // Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena 2009. P. 384-387